

PRIMO LIVELLO: LINEE GUIDA

1. OBIETTIVI E DESTINATARI DEL MANUALE

1.1. I COSTI DELLA MANCATA PREVENZIONE

Come noto, purtroppo, il rumore costituisce ancora oggi, a più di dieci anni dalla emanazione del Decreto Legislativo n. 277 del 15 agosto 1991, la causa della tecnopatia denunciata all'INAIL con maggiore frequenza, con un'incidenza percentuale prossima al 50% sul totale dei casi denunciati di malattie professionali. Come si può vedere dalla Tabella 1.1 sotto riportata, nel periodo compreso tra il 1994 e il 2002 l'INAIL ha provveduto al riconoscimento nel comparto industria e servizi di circa 13.300 nuovi casi di ipoacusia professionale da rumore. A questi dati vanno aggiunti i casi relativi all'agricoltura ed i dati relativi alle ipoacusie professionali riconosciute a seguito di denunce presentate direttamente dai lavoratori che svolgono lavorazioni non presenti nelle tabelle allegate al D.P.R.n. 336 del 13.04.1994 (cosiddette "ipoacusie non tabellate"). Il fenomeno è quindi ancora imponente, anche se il suo andamento generale, come riportato in Tabella 1.1, evidenzia un importante e costante contenimento passando da 15.281 casi denunciati nel 1997 a 5.254 casi denunciati ad oggi del 2002.

Tabella 1.1: Ipoacusie denunciate e indennizzate – Industria e Servizi - anni 1994÷2002. (Fonte: INAIL)

ANNO DENUNCIA	IPOACUSIE TABELLATE		IPOACUSIE NON TABELLATE		TOTALE IPOACUSIE	
	Denunciate	Indennizzate	Denunciate	Indennizzate	Denunciate	Indennizzate
1994	15.160	2.406	4.831	215	19.991	2.621
1995	10.804	1.630	6.634	389	17.438	2.019
1996	9.772	1.495	6.828	452	16.600	1.947
1997	8.154	1.306	7.127	547	15.281	1.853
1998	6.271	1.146	7.001	507	13.272	1.653
1999	5.723	1.029	6.353	494	12.076	1.523
2000	5.359	530*	6.118	250*	11.477	780*
2001	3.972*	311*	4713*	171*	8.685*	482*
2002	3.239*	264*	2.015*	150*	5.254*	414*

**: dati non definitivi suscettibili di variazioni dovuti alle pratiche ancora in corso di definizione.*

Per dare un'idea dei costi sociali delle ipoacusie professionali, ci pare importante evidenziare che le rendite totali in gestione dall'INAIL nell'anno 1999 ammontavano a un totale di circa 300 milioni di Euro. Per contro, a titolo di esempio, si è stimato che in un'azienda che abbia 100 lavoratori esposti a livelli di 95 dB(A), ci si debba attendere un aumento del premio assicurativo pari a 1.800 € l'anno. Queste somme potrebbero essere utilizzate per interventi di prevenzione tecnica primaria e secondaria nell'ambito di un programma aziendale di breve-

medio periodo, con tutti i vantaggi in termini di riduzione drastica dell'incidenza futura delle ipoacusie e la miglior qualità di lavoro ottenibile nell'ambiente silenzioso.

Gli interventi tecnici di riduzione del rischio rumore, strada maestra per la riduzione dell'incidenza di questa tecnopatia, quasi mai considerano i risparmi in termini di costi sociali delle ipoacusie professionali e scontano spesso da parte delle Aziende, soprattutto quelle di piccole e medie dimensioni, una insufficiente sensibilità nella valutazione della redditività di questo tipo di investimenti in prevenzione.

Per facilitare il reperimento delle risorse economiche necessarie per la bonifica degli ambienti di lavoro, l'INAIL ha messo in atto già nel 2002 il progetto "Incentivi alla Prevenzione - Programmi di adeguamento", accollandosi gli interessi sul capitale necessario per attuare gli interventi di riduzione dei rischi aziendali, compresi quelli legati alla riduzione del rumore. Per i progetti più meritevoli, è stato previsto anche il finanziamento a fondo perduto fino al 30% in conto capitale.

Ci auguriamo che l'iniziativa, oggi ancora in fase sperimentale, diventi permanente nei prossimi anni ed aiuti gli imprenditori a mettere in atto quanto indicato in questo Manuale anche nella certezza che la riduzione del rumore, oltre che un obbligo di natura morale e giuridica, rappresenti concretamente un investimento, quanto meno nel medio-lungo periodo.

1.2. DESTINATARI DEL MANUALE

Con le indicazioni contenute in questo Manuale, che si pongono in continuità ideale e tecnico-metodologica con le Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro pubblicate alla fine del 2000, si intende finalmente colmare quel vuoto di conoscenze e soprattutto di indirizzi e di indicazioni pratiche in un campo – quello delle bonifiche acustiche – fino ad oggi ristretto a pochi esperti e dove non è facile reperire informazioni e indicazioni tecniche attendibili.

Le presenti indicazioni sono quindi indirizzate in primo luogo ai soggetti aziendali ed extra aziendali che la legislazione individua come i soggetti su cui gravano specifici obblighi per la riduzione del rischio rumore nei luoghi di lavoro. Ci si riferisce innanzitutto ai datori di lavoro, che sono i primi depositari degli obblighi di sicurezza nei confronti dei loro lavoratori, ovvero, più spesso, ai loro consulenti (progettisti, valutatori, realizzatori di bonifiche acustiche ...) o delegati (dirigenti, R-SPP: Responsabili dei Servizi di Prevenzione e Protezione ...). Inoltre, anche altre importanti figure della prevenzione quali i produttori di macchine, gli stessi Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS) ed i Medici Competenti, troveranno molteplici riferimenti al loro ruolo.

Soprattutto nella stesura del testo del 1° Livello si è cercato di avere particolare attenzione, oltre che alla tradizionale realtà industriale, alle problematiche delle piccole e medie imprese (PMI), delle amministrazioni pubbliche, del terziario (come uffici, commercio, scuole e strutture sanitarie) dove, per carenza di figure professionali specialistiche o per una solo recente apertura ai temi della sicurezza, ci è parsa più forte l'esigenza di indirizzi operativi.

D'altra parte, in ottemperanza alla missione istituzionale di organo tecnico-scientifico del Ministero della Salute dell'ISPESL e a riprova del ruolo primario del Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, le indicazioni di questo Manuale sono anche rivolte ai Dipartimenti di Prevenzione delle Aziende Unità Sanitarie Locali, i cui operatori svolgono quotidianamente una azione diffusa di prevenzione e di vigilanza nei luoghi di lavoro.

L'auspicio di tutti coloro che hanno redatto le presenti indicazioni è che esse costituiscano un ausilio importante per l'attività generale di controllo svolte dai servizi di vigilanza, con l'obiettivo primario di favorire l'uniformità dei comportamenti sul territorio nazionale, anche nel caso di indagini giudiziarie e di accertamenti da effettuarsi per ipoacusie denunciate. Si reputa che le indicazioni metodologiche e le soluzioni pratiche realizzate nelle varie realtà produttive e riportate al 3° Livello di questo Manuale saranno di particolare utilità ai fini dei provvedimenti di prescrizione adottati dagli ispettori di vigilanza ai sensi del D.Lgs. 758/94 e nel caso della adozione di disposizioni ex D.P.R. 520/55.

Infine, le presenti indicazioni di buona tecnica potranno costituire anche un valido contributo italiano all'attività dell'Agenzia Europea per la Sicurezza e la Salute nei luoghi di Lavoro di Bilbao (Spagna) di cui l'ISPESL è Focal Point per l'Italia, in particolare per supportare il progetto "Rischi emergenti" condotto dal Topic Research Centre sotto la supervisione del BIA tedesco.

2. DALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO ALLE STRATEGIE PER LA SUA RIDUZIONE

L'emanazione del D.Lgs.277/91 in recepimento della direttiva 86/188/CEE ha avuto un forte impatto sulle aziende in quanto la legislazione precedente era basata su obblighi generici che più difficilmente si traducevano in una prevenzione concreta. Tuttavia, in tema di esposizione al rischio rumore sui luoghi di lavoro, il quadro legislativo attuale discende anche dal recepimento di un'altra fondamentale direttiva comunitaria inerente il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro: la direttiva quadro 89/391/CEE recepita col D.Lgs.626/94 e successive modifiche. Inoltre, per lo specifico campo di applicazione dei cantieri temporanei e mobili, il quadro è completato dal D.Lgs.494/96 emanato in recepimento della direttiva 92/57/CEE.

In effetti, oggi si può convenire che il D.Lgs.277/91 anticipava ciò che è stato attuato compiutamente solo a seguito dell'entrata in vigore del D.Lgs.626/94 e che, in sintesi, può essere definito come un metodo di gestione aziendale della sicurezza maggiormente imperniato sulle procedure ed attuato mediante l'adozione di misure che, in primo luogo, prevedono la valutazione del rischio.

E' importante sottolineare la stretta connessione tra D.Lgs.626/94 (norma generale di riferimento per la sicurezza sul lavoro) e D.Lgs.277/91 (norma specifica integrativa sul rischio rumore), perché è dalla lettura integrata dei due provvedimenti che si coglie appieno il senso della valutazione del rischio e del suo obiettivo primario: quello di identificare e attuare le misure tecniche, organizzative e procedurali che, ancor prima dei protocolli di prevenzione e protezione esplicitamente previsti, permettono un reale contenimento dei livelli di rischio.

Sotto questo aspetto, però, i risultati ottenuti nelle realtà aziendali non sono stati particolarmente soddisfacenti e neppure si è percepita negli ultimi anni una tendenza al miglioramento della situazione.

A questo si aggiunga che il quadro legislativo sta per cambiare in ragione dell'adozione di una nuova direttiva europea 2003/10/CE sull'esposizione professionale al rumore che dovrà essere recepita dagli Stati membri entro il 15 febbraio 2006. Questa direttiva, in ossequio alla politica di progressivo innalzamento degli standard di sicurezza e salute dei lavoratori dell'Unione, prevede una serie di importanti novità (si pensi ad esempio all'abbassamento del valore limite di esposizione personale giornaliero $L_{EP,d}$ dagli attuali 90 dB(A) a 87 dB(A)) che evidenziano ancor di più la necessità di mettere in campo una politica di prevenzione tecnica per la gestione del rischio rumore.

Come discusso nel Capitolo 1, le bonifiche acustiche, oltre che un dovere morale ed un obbligo sociale penalmente sanzionato, possono rappresentare un investimento. Inoltre la loro realizzazione è spesso ostacolata da una carente informazione tecnica sia dei datori di lavoro che, purtroppo, dei loro consulenti.

Per colmare queste carenze ed in ottemperanza agli scopi istituzionali, l'ISPESL ed il Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome hanno predisposto questo Manuale che rappresenta una ideale continuazione del precedente documento ISPESL/Coordinamento Regioni, le "Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro, la redazione dei rapporti di valutazione e la gestione degli adempimenti conseguenti". Ricordiamo che quest'ultimo è stato diffuso in oltre 25.000 copie ed è reperibile, nella sua versione aggiornata, presso il sito web dell'ISPESL all'indirizzo:

www.ispesl.it/linee_guida/fattore_di_rischio/rumore.

2.1. VALUTAZIONE DEL RISCHIO RUMORE

In generale, la valutazione dei rischi è un processo tecnico di conoscenza finalizzato alla riduzione ed al controllo dei rischi attraverso una serie di interventi, tra i quali l'adozione di misure tecniche, organizzative e procedurali, l'effettuazione di controlli sanitari preventivi e periodici, la costante ed adeguata informazione e formazione degli addetti.

Sul versante specifico del rumore è il D.Lgs.277/91 che, all'articolo 40 e nell'Allegato VI, stabilisce le modalità esecutive ed i requisiti della valutazione del rischio e del Rapporto di Valutazione.

Non si intende certo qui ritornare sui concetti già espressi sulle Linee Guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro (e ai quali si rimanda per completezza), quanto nuovamente sottolineare che l'obiettivo generale della valutazione del rischio è identificare le azioni che permettano la riduzione del rischio per una sua corretta gestione (controllo del rischio).

In maniera più analitica si può sostenere che la Relazione Tecnica che sta alla base della valutazione del rischio rumore deve consentire di:

- 1) identificare le sorgenti/attività sulle quali attuare misure tecniche, organizzative o procedurali per il controllo del rischio, individuando le modalità ottimali di intervento;
- 2) identificare i luoghi di lavoro su cui si applicano protocolli specifici di prevenzione (ad esempio: perimetrazione dei luoghi di lavoro con $L_{Aeq} > 90$ dB(A) e/o $L_{picco} > 140$ dB(Lin) ; formazione e informazione dei lavoratori sull'utilizzo di macchine che producono $L_{Aeq} > 85$ dB(A));
- 3) identificare i lavoratori destinatari di protocolli specifici di prevenzione (definizione dei L_{EP} ai fini dei controlli sanitari, esigenze di informazione/formazione, fornitura/obbligo d'uso dei DPI uditivi) anche per attuare gli obblighi a ciò connessi (registro degli esposti ex art. 49, comunicazione ex art. 45);
- 4) valutare il rischio "residuo" ai fini della scelta dei corretti DPI uditivi.

Ecco allora che una tale Relazione Tecnica pone realmente il datore di lavoro in condizione di decidere le azioni da intraprendere per mettere il rischio sotto controllo, indicando il programma operativo conseguente sul Rapporto di Valutazione.

In definitiva, la valutazione del rischio da rumore, secondo quanto previsto dall'articolo 40 del D.Lgs.277/91, è innanzitutto un processo tecnico di conoscenza della rumorosità presente nella realtà produttiva oggetto della valutazione e dell'esposizione personale al rumore degli addetti che vi operano. Tale processo di conoscenza non deve però rimanere fine a se stesso, ovvero non deve consistere in una mera "fotografia" dell'esistente seguita da una serie di adempimenti minimi ed esplicitati dalla legge; piuttosto esso deve essere finalizzato alla riduzione ed al controllo dei rischi attraverso l'adozione di specifiche misure tecniche, organizzative e procedurali che la legge non ha voluto (né avrebbe potuto) dettagliare (se non fissando principi di carattere generale quali la prevalenza delle misure alla fonte o delle misure di prevenzione collettiva rispetto a quelle di protezione sulla persona), anche per non ingerire nelle scelte tipiche del datore di lavoro.

2.2. STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO

Come noto, la riduzione del rumore può essere attuata adottando vari provvedimenti tecnici, preventivi e protettivi. Questi provvedimenti possono consistere in una riduzione del rumore alla fonte (sulle macchine, sui processi di lavorazione), sul percorso di propagazione (con cabine acustiche, schermi, trattamenti fonoassorbenti ambientali...) o con misure sull'operatore (cabine di riposo acustico, turnazioni, DPI uditivi...).

L'adozione dell'uno o dell'altro tipo di soluzione non è indifferente: la legislazione, ed in particolare l'art. 3 del D.Lgs.626/94 e l'art.41 del D.Lgs.277/91, fissa una sequenza inequivocabile che privilegia i provvedimenti volti all'eliminazione o alla riduzione del rischio alla fonte ed i provvedimenti di tipo collettivo su quelli individuali.

Ecco allora che i metodi di riduzione del rumore sul posto di lavoro devono sempre essere ispirati a tale percorso logico e tecnico-metodologico che corrisponde anche all'efficacia attesa del provvedimento.

È noto infatti che i vantaggi maggiori in termini di decibel si possono ottenere agendo sulle macchine, in fase progettuale o in opera, intervenendo sui meccanismi fisici di generazione del rumore oppure intercettando il rumore prima che si propaghi all'ambiente di lavoro. Tuttavia, anche le attenuazioni dei livelli sonori che si possono ottenere tramite il trattamento fonoassorbente ambientale, seppure inferiori in termini numerici rispetto ai precedenti, corrispondono a decibel "pesanti" dal punto di vista igienistico. Infatti, tali interventi consentono di ridurre i livelli sonori ambientali in tutto l'ambiente di lavoro (e quindi si ritrovano di pari entità come riduzione del livello di esposizione personale) e agiscono prevalentemente sulle componenti a media-alta frequenza, che sono quelle più pericolose per l'udito e le più fastidiose dal punto di vista ergonomico.

Solo a valle di questi interventi tecnici sulle fonti e sulle vie di propagazione del rumore, sulla base del cosiddetto rischio residuo, è corretto mettere in campo i provvedimenti di protezione dell'udito.

A seguito delle indicazioni ottenibili da una corretta valutazione del rischio, si stabiliscono gli obiettivi acustici e le possibili metodologie di intervento.

Esaminati tutti i possibili interventi tecnici in grado di garantire la riduzione della rumorosità desiderata e la loro fattibilità sulla base del grado di rispondenza alle condizioni al contorno richieste, la decisione sul tipo di intervento da adottare va maturata a valle di un confronto tecnico con lo staff aziendale della produzione, della manutenzione e della sicurezza (alla luce delle cosiddette informazioni “non acustiche”) e della consultazione dei lavoratori e/o dei loro RLS. Questo processo è finalizzato alla salvaguardia sia delle esigenze funzionali e logistiche per la salute e la sicurezza degli operatori, sia della produttività e della manutenzione delle macchine e degli impianti.

A questo punto, scelta la soluzione che garantisce il migliore compromesso tra costi e benefici, si passerà così alla progettazione esecutiva ed alla realizzazione, prevedendo possibilmente anche delle verifiche intermedie.

Una volta ultimata l'opera si provvederà ad effettuare il collaudo acustico ed a verificare la riduzione del rumore così ottenuta.

Sulla base delle risultanze dell'intervento il datore di lavoro aggiornerà il Rapporto di Valutazione, se del caso rimodulando i relativi adempimenti di legge e aggiornando il programma di mantenimento e miglioramento.

In merito alla prima valutazione di fattibilità degli interventi, dato che da una corretta impostazione iniziale dipende molto spesso l'esito dell'intero intervento, si ritiene opportuno illustrare più in dettaglio le singole voci associate alla fase:

- **Entità della attenuazione sonora richiesta.**

Una attenta valutazione del livello di esposizione personale fornisce informazioni in merito all'attenuazione necessaria; dato che le diverse famiglie di interventi sono caratterizzate anche da diversi abbattimenti raggiungibili con ciascuna di esse, è utile definire prima la riduzione in dB che costituiscono l'obiettivo dell'intervento per poter così orientare correttamente la scelta (ad esempio: per riduzioni > 10 dB non ha senso ipotizzare un trattamento ambientale). Spesso alla stessa riduzione si può pervenire attraverso strade diverse (ad esempio: una riduzione di 15 dB è ottenibile sia cambiando la tecnologia produttiva che con un intervento di chiusura della sorgente); in questo caso si sceglierà quella con il più vantaggioso rapporto costo-rendimento.

- **Vincoli esistenti.**

È indispensabile conoscere a fondo le condizioni di funzionamento dell'impianto oggetto dell'insonorizzazione in modo da non proporre soluzioni acusticamente valide ma non utilizzabili per motivi di carattere gestionale (ad esempio: in una cabinatura totale di una sorgente, un portello che viene aperto molto frequentemente inficia l'intervento; sarebbe più opportuno portare all'esterno della cabina il particolare sul quale si deve intervenire oppure prevedere un ingresso silenziato che, a fronte di una minore efficienza acustica, garantisce comunque sempre un abbattimento).

- ***Risorse disponibili.***

Il costo reale di un intervento insonorizzante va correttamente stimato in relazione al numero di persone che godono dei benefici indotti; occorre anche evidenziare che molto spesso si dovranno sostenere anche altri costi nascosti collegati direttamente alla scelta tecnica (ad esempio: l'aumento dei costi di fermo macchina per la manutenzione in caso di cabinatura totale della sorgente).

Infine, è indubbio che su questo processo giochino un ruolo fondamentale tanto il datore di lavoro e i suoi collaboratori quanto il tecnico incaricato della progettazione e della realizzazione degli interventi acustici. Quest'ultimo deve essere un professionista dotato di esperienza progettuale e applicativa specifica e quindi non necessariamente lo stesso che ha eseguito le misure fonometriche per la Valutazione del rumore.

Indicazioni per la scelta del consulente sono riportate nella Scheda n. 7 del secondo livello.

Sulla base di queste considerazioni, di seguito si propone, con lo schema di Figura 2.1, la metodologia generale consigliata da questo manuale per la riduzione del rumore in ambiente di lavoro attraverso passaggi che saranno in dettaglio esaminati nei capitoli seguenti e nelle schede tecniche di approfondimento.

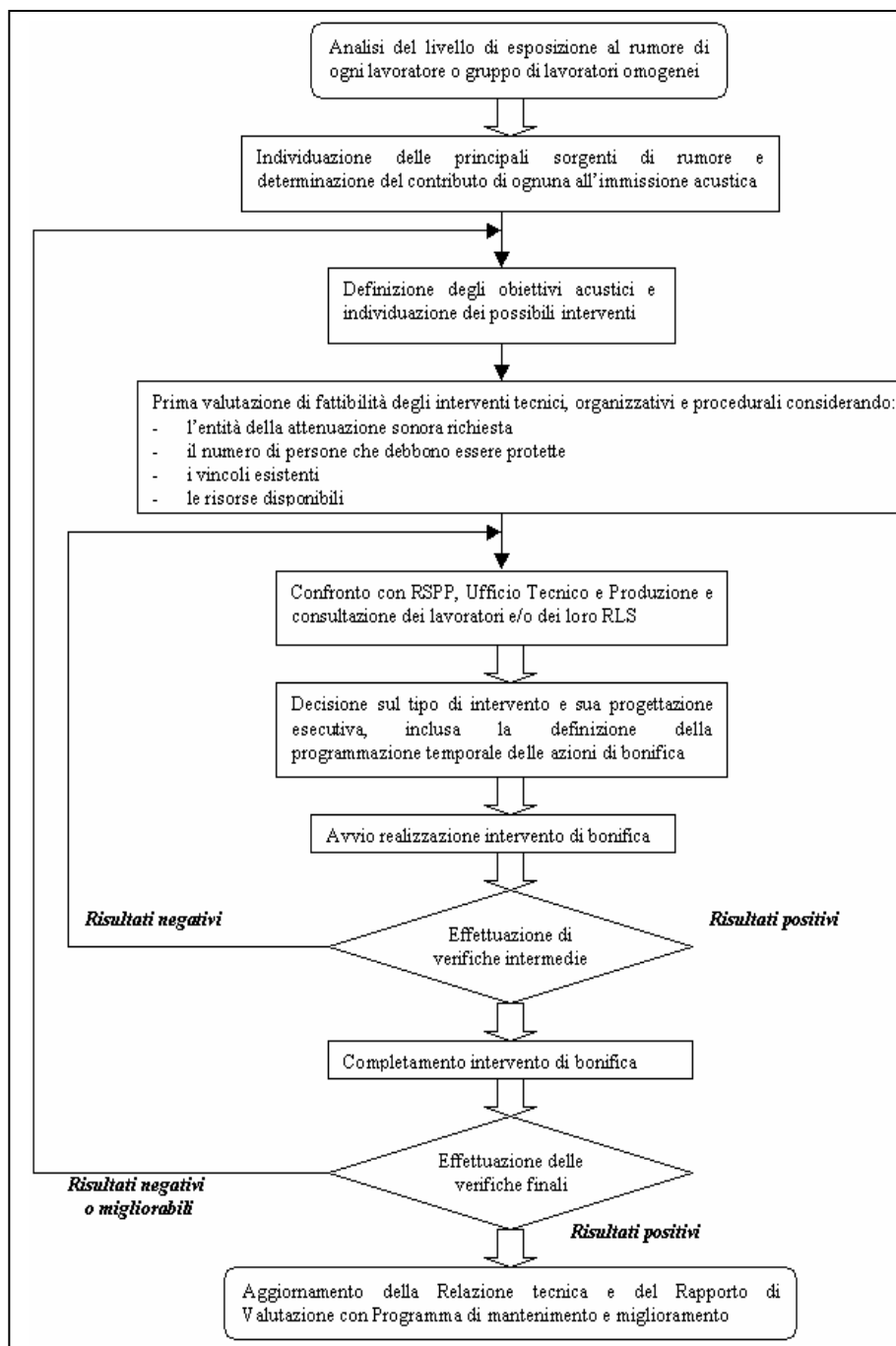


Figura 2.1: Processo di pianificazione e realizzazione delle opere di bonifica acustica

3. PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA DEGLI STABILIMENTI INDUSTRIALI

Nel progettare un nuovo stabilimento industriale vanno considerati numerosi fattori: dalla localizzazione dell'area dell'insediamento alla sua pianificazione, dal dimensionamento della struttura alla definizione del progetto di massima ed al suo perfezionamento sino al progetto esecutivo.

Tra i principali aspetti che concorrono a definire le caratteristiche progettuali degli edifici destinati ad attività produttive assumono una rilevanza fondamentale, da un lato l'organizzazione della produzione, dall'altro l'ampliabilità e la flessibilità dell'organismo edilizio che si andrà a realizzare.

Accanto all'attenzione tradizionalmente dedicata a questi aspetti di carattere tecnico-produttivo è però necessario rispettare anche le esigenze legate alla tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori, nonché all'integrazione dell'edificio e delle attività che vi si svolgeranno con il contesto esterno, esigenze queste definite da disposizioni di legge, da norme di buona tecnica e da conoscenze tecnico-scientifiche.

Nella moderna gestione delle imprese, le variabili sicurezza e ambiente sono riprese dai sistemi di gestione della qualità e quindi considerate anche come opportunità per recuperare ed accrescere la produttività, la qualità del bene o del servizio e, in definitiva, la competitività aziendale. Assolutamente concordi sono infatti le valutazioni circa la riduzione dei costi sociali ed aziendali che si ottiene mediante la previsione dei rischi già in fase di progettazione.

È quindi evidente che la stesura di un progetto definitivo di un ambiente di lavoro debba essere frutto di un'attività multidisciplinare (ovviamente a livelli di complessità coerenti con la complessità del progetto), così come è evidente che tale progetto deve anche avvalersi delle conoscenze derivanti dall'esperienza di coloro che dell'impianto industriale costituiscono la base dirigenziale ed operativa. Per quanto riguarda la tutela della salute e della sicurezza del lavoro, come anticipato nel capitolo 2, il confronto deve coinvolgere anche tutti i soggetti che hanno competenze aziendali specifiche, ed in particolare il Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP) ed il Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS).

In questo capitolo si è cercato di evidenziare, dal punto di vista acustico, gli aspetti metodologici connessi alla progettazione di una nuova attività produttiva o di ristrutturazione di aziende esistenti; infatti, molte delle considerazioni qui avanzate per i nuovi insediamenti sono utilizzabili anche per quelli esistenti, nonostante in questo caso i vincoli costituiti dalla struttura edilizia preesistente e dall'attività lavorativa che vi si svolge possono limitare il campo di applicabilità e l'efficacia degli interventi.

Negli ambienti destinati ad attività lavorative, gli aspetti del problema rumore a cui il progettista deve porre attenzione nell'elaborazione del progetto vengono tradizionalmente associati a due filoni fondamentali: la riduzione al minimo dell'impatto acustico nei confronti dell'esterno e la riduzione al minimo del rischio per i lavoratori.

I due aspetti, comunque, non dovrebbero essere affrontati in tempi differiti: dato che essi interagiscono fortemente, dovrebbero essere risolti congiuntamente.

3.1. RIDUZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO

Dato per acquisito che l'azienda in progettazione si avvarrà delle macchine, attrezzature e impianti che garantiscono i minori livelli di emissione sonora, la riduzione dell'impatto acustico dell'insediamento industriale sull'ambiente circostante richiede che vengano affrontati con particolare attenzione problemi quali:

- l'ubicazione dell'insediamento;
- la collocazione dello stabilimento e la disposizione delle sorgenti interne;
- la disposizione delle sorgenti esterne;
- l'isolamento acustico.

3.1.1. Ubicazione dell'insediamento e aspetti normativi

La "Legge quadro sull'inquinamento acustico" n. 447/95 del 6 ottobre 1995, all'articolo 8 ha introdotto l'obbligo di effettuare la valutazione preventiva di impatto acustico dei nuovi insediamenti produttivi.

A questo proposito, il primo aspetto da considerare a livello progettuale è l'individuazione del clima acustico dell'area di insediamento e di quella circostante al fine del rispetto dei valori limite assoluti di emissione (misurati in prossimità delle sorgenti) e di immissione (misurati in prossimità dei ricettori) prescritti dalla vigente normativa e riportati in Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Valori limite assoluti di immissione prescritti dall'art. 3 del D.P.C.M. 14/11/97

Classe del territorio	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
I – aree particolarmente protette	50	40
II - aree prevalentemente residenziali	55	45
III - aree di tipo misto	60	50
IV - aree di intensa attività umana	65	55
V - aree prevalentemente industriali	70	60
VI - aree esclusivamente industriali	70	70

La valutazione di compatibilità acustica dell'insediamento dovrà fare riferimento al piano di zonizzazione acustica adottato dal Comune. Qualora questo piano non sia stato ancora approvato, si raccomanda di valutare la probabile classificazione che verrà adottata per l'area di insediamento e per le aree limitrofe, sulla base del piano regolatore comunale e della destinazione d'uso delle aree stesse. Ciò in quanto, come si evince dalla Tabella 3.2, non necessariamente i limiti provvisori di zona (tratti dall'art. 6 del D.P.C.M. 01/03/91) coincideranno con i limiti di zona valevoli a seguito dell'adozione da parte del Comune della zonizzazione acustica. In

particolare va sottolineato che i limiti provvisori assegnati a “tutto il territorio nazionale”, coincidendo con i limiti della classe V “aree prevalentemente industriali”, risultano incompatibili con quelli delle aree a carattere residenziale (classe II) e a intensa attività umana (classe IV).

Tabella 3.2: Confronto tra classificazione acustica prescritta dalla vigente normativa e limiti provvisori applicabili in attesa che i Comuni provvedano alla zonizzazione acustica

Classe del territorio (art.3, D.P.C.M. 14/11/97)	Classificazione provvisoria (art.6, D.P.C.M. 01/03/91)	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
III - aree di tipo misto	zona B	60	50
IV - aree di intensa attività umana	zona A	65	55
V – aree prevalentem. industriali	tutto il territorio nazionale	70	60
VI - aree esclusivam. industriali	zona esclusivamente industriale	70	70

Si può quindi sintetizzare affermando che l’area per l’insediamento va scelta considerando:

- a) il piano di classificazione acustica comunale (approvato o previsto);
- b) i valori limite assoluti di immissione (fissati o prevedibili) per detta area e per le aree limitrofe;
- c) il rumore prodotto da eventuali altri insediamenti.

Il rumore emesso dallo stabilimento in via di realizzazione dovrà poi rispettare i limiti riportati nella Tabella 3.3. Detti limiti si applicano a tutte le aree del territorio circostanti l’insediamento in oggetto secondo la loro classificazione acustica.

Per tutte le aree, ad eccezione di quelle esclusivamente industriali, occorrerà inoltre prevedere il rispetto (nel funzionamento a regime) dei valori limite differenziali, definiti dallo stesso D.P.C.M. 14/11/97, che impongono che il rumore ambientale (complessivo) non superi il rumore residuo (presente durante la disattivazione della sorgente disturbante) di oltre 5 dB(A) in periodo diurno e di oltre 3 dB(A) in periodo notturno.

Nel valutare il rispetto dei limiti suddetti si dovrà infine porre attenzione alla presenza di eventuali caratteristiche impulsive, tonali o di bassa frequenza che, secondo lo stesso D.P.C.M. 14/11/97, penalizzano il rumore prodotto.

Come ultima annotazione si rammenta che i limiti di immissione e di emissione riguardano l’intero periodo di riferimento (diurno 06-22, notturno 22-06), mentre i limiti differenziali si riferiscono ad un periodo rappresentativo del fenomeno in esame.

Tabella 3.3: Valori limite di emissione prescritti dalla vigente normativa (art. 2, D.P.C.M. 14/11/97)

Classe del territorio	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
I – aree particolarmente protette	45	35
II - aree prevalentemente residenziali	50	40
III - aree di tipo misto	55	45
IV - aree di intensa attività umana	60	50
V - aree prevalentemente industriali	65	55
VI - aree esclusivamente industriali	65	65

3.1.2. Collocazione dello stabilimento e disposizione delle sorgenti interne

Una volta che l'area per l'insediamento sia già definita, compatibilmente con i vincoli urbanistici è opportuno allontanare il più possibile lo stabilimento dai ricettori sensibili potenzialmente disturbati quali abitazioni, scuole, ospedali, altre aziende ecc. Ad esempio, se è prevista una palazzina uffici annessa allo stabilimento, questa può essere interposta tra lo stabilimento e i ricettori, come riportato nella Figura 3.1.

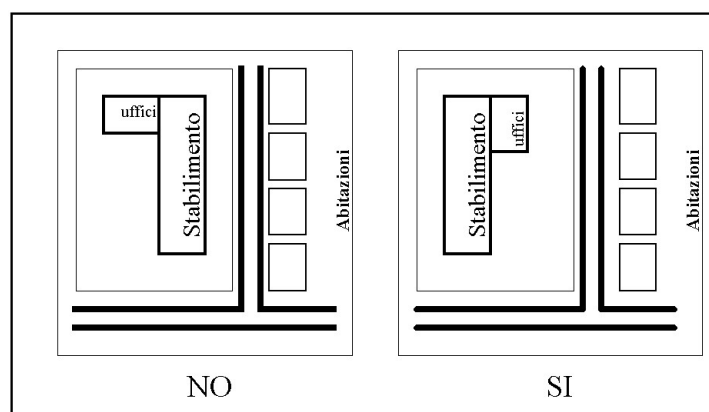


Figura 3.1: Interposizione della palazzina uffici tra lo stabilimento e le abitazioni

Inoltre, anche se la modalità ottimale di controllo della propagazione acustica è di intervenire potenziando l'isolamento degli involucri, in tutti i casi in cui questo è possibile, la distribuzione delle sorgenti all'interno dello stabilimento è opportuno venga realizzata in modo che l'impatto verso i ricettori sia il più possibile contenuto: i reparti in cui si svolgeranno le attività più disturbanti (es.: martellamento) o in cui saranno installate le macchine più rumorose (es.: magli, presse, telai, ...) andranno più opportunamente collocati nella zona opposta a quella in cui si affacciano i ricettori. Tutto ciò a maggior ragione se si pensa di operare (anche parzialmente, nella stagione estiva o per la movimentazione dei materiali) con i portoni dello stabilimento aperti.

3.1.3. Disposizione delle sorgenti esterne

Per minimizzare le conflittualità coi ricettori più vicini, particolare attenzione va posta nella disposizione delle sorgenti di rumore all'esterno dello stabilimento. Le sorgenti di tipo fisso (impianti di trattamento dell'aria, compressori, pompe, torri evaporative ecc.) vanno preferibilmente collocate il più lontano possibile dai ricettori prossimi (vedi Figura 3.2) ed il loro impatto acustico va valutato preventivamente sulla base di modelli matematici. Qualora queste previsioni evidenzino possibili superamenti dei valori limite (di immissione, di emissione, differenziali) occorrerà intervenire sulle sorgenti con adeguate bonifiche (schermi o barriere, silenziatori ecc...).

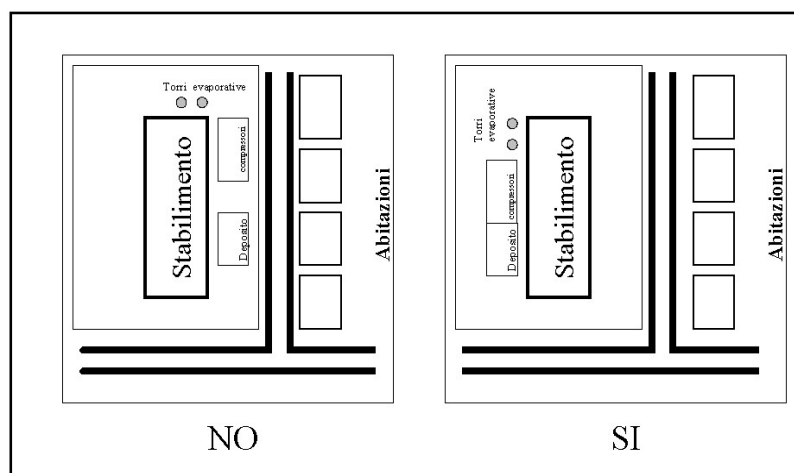


Figura 3.2: Esempio di interposizione dello stabilimento tra sorgenti fisse esterne e ricettori potenzialmente disturbati

Oltre alle sorgenti di tipo fisso, nella localizzazione e nell'orientamento dello stabilimento vanno considerate anche le attività svolte all'esterno che possono rappresentare importanti fonti di inquinamento acustico e principalmente:

- a) eventuali attività svolte all'aperto associate al ciclo produttivo (lavori di demolizione; collaudi, manutenzione e pulizia di macchinari e impianti; smerigliatura, martellatura ...)
- b) attività di movimentazione, carico, scarico, deposito di materie prime e rifiuti;

Anche per tali attività andrà effettuata una valutazione preventiva di impatto acustico prevedendo eventualmente bonifiche acustiche, in accordo con quanto sopra esposto per le sorgenti fisse.

In Figura 3.3 è riportato un esempio di ottimizzazione delle vie d'accesso allo stabilimento.

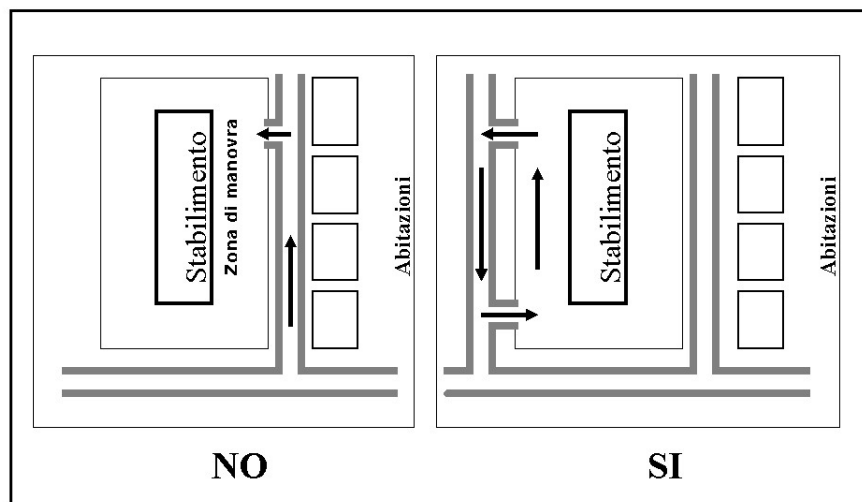


Figura 3.3: Esempio di pianificazione delle zone di manovra per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dal traffico indotto dalle attività industriali

3.1.4. Isolamento acustico

Nella normalità dei casi (insediamenti produttivi non eccessivamente rumorosi realizzati in lottizzazioni dedicate, circondati da aree acusticamente omogenee, nel rispetto delle distanze dai confini ...) l'isolamento acustico che deve essere fornito dagli involucri dell'edificio non presenta particolari esigenze progettuali.

Qualora, invece, gli involucri siano destinati ad ospitare lavorazioni molto rumorose e/o ci si trovi di fronte a situazioni di prossimità con ricettori particolarmente esigenti quanto a livelli di rumore, il controllo del rumore prodotto all'interno dell'ambiente di lavoro e immesso all'esterno richiede un'accurata progettazione esecutiva del fabbricato. Di seguito è riportata la metodologia da seguire.

- a) Identificazione dei valori acustici da rispettare a livello dei ricettori.
- b) Stima, mediante tecniche di previsione basate su calcolo numerico e modelli di simulazione al computer, dei livelli di rumorosità massima che si possono propagare dallo stabilimento.
- c) Conoscenza dei livelli di emissione dei macchinari installati.
- d) Scelta delle caratteristiche fonoisolanti e delle dimensioni dei materiali costruttivi e dei vari componenti edilizi (coperture, tamponamenti, porte, portoni, serramenti, ecc.). Tale scelta dei componenti è effettuata sulla base dei criteri di valutazione dell'isolamento acustico prescritti dalle norme di buona tecnica (la norma UNI EN 12354-4:2002, UNI EN ISO 140-5:2000).
- e) Progettazione tale da impedire la creazione di ponti acustici e la trasmissione di rumore verso l'esterno causata da aperture nell'edificio o da intercapedini comunicanti verso l'esterno.

Per chi si avvicina per la prima volta al problema dell'isolamento acustico, come regole generali, va tenuto presente quanto segue.

- a) L'isolamento del rumore trasmesso per via aerea determinato da divisori a parete singola dipende essenzialmente dalla loro massa; in genere un raddoppio della massa comporta un incremento di isolamento di circa 5 dB.
- b) A parità di massa, le pareti doppie possono presentare, se adeguatamente progettate, un isolamento superiore di circa 10 dB rispetto a quello delle pareti singole. A questo proposito va individuata la distanza ottimale tra le due pareti, vanno evitati collegamenti rigidi tra le stesse e vanno inseriti adeguati pannelli fonoassorbenti nell'intercapedine risultante.
- c) Rispetto alle pareti, le porte e le finestre forniscono generalmente un minor isolamento acustico.
- d) Nella stima dell'isolamento acustico determinato dalle pareti si deve tenere conto del fatto che il rendimento effettivo è quasi sempre inferiore al rendimento intrinseco delle pareti utilizzate, a causa della trasmissione laterale.

3.2. RIDUZIONE DEL RISCHIO PER I LAVORATORI

Come già più volte affermato, l'adozione di tutti gli accorgimenti necessari per ridurre il rumore o comunque l'esposizione degli addetti è contenuta nei obblighi generali previsti dagli articoli 46 e 41 del D.Lgs.277/91, rispettivamente per la fase di progetto e di conduzione di uno stabilimento industriale. In questo modo, relativamente alle caratteristiche acustiche dei locali, rientrano nelle disposizioni da rispettare le raccomandazioni di buona tecnica disponibili, ed in particolare le norme delle serie ISO 11690 "Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario...".

Richiamato nuovamente l'assunto che l'azienda in progettazione si avvarrà delle macchine, attrezzature e impianti che garantiscono i minori livelli di emissione sonora, la riduzione del rischio per i lavoratori richiede che vengano affrontati i seguenti aspetti:

- l'individuazione e la caratterizzazione delle sorgenti di rumore;
- l'analisi delle caratteristiche geometriche dello stabilimento;
- la stima dei livelli di esposizione dei lavoratori;
- la definizione degli obiettivi acustici;
- gli interventi di riduzione dell'esposizione.

3.2.1. Individuazione e caratterizzazione delle sorgenti di rumore

L'analisi della futura realtà lavorativa deve partire dall'individuazione delle sorgenti di rumore che determineranno significative emissioni sonore. Le stesse andranno poi caratterizzate acusticamente, acquisendo i dati necessari alle stime successive.

In generale, per ogni sorgente significativa, occorre conoscere i livelli di pressione sonora ed i livelli di picco che la stessa determina nel/nei posti di lavoro nonché il suo livello di potenza sonora. Ove possibile si rivela spesso utile disporre della direttività e dello spettro in frequenza (in alcuni casi queste informazioni sono indispensabili).

Le informazioni di base sono desumibili da:

- i dati forniti dal costruttore (inseriti nel manuale d'uso previsto dalla direttiva macchine);
- misurazioni dirette sulle sorgenti sonore che saranno inserite nel nuovo ambiente di lavoro.

Qualora non fosse percorribile nessuna delle due vie precedentemente descritte precedenti, si può ovviare alla carenza ricorrendo a:

- misurazioni su sorgenti sonore simili;
- dati ricavati dalla letteratura tecnica o da banche-dati.

Ovviamente la precisione dei risultati che si consegue con queste seconde modalità è inferiore.

3.2.2. Spazi e caratteristiche geometriche dello stabilimento

Come noto, l'addensamento delle lavorazioni è una delle cause principali degli elevati livelli sonori presenti negli ambienti produttivi ed è da rilevare come l'ovvia contromisura di distanziare le macchine e gli impianti si scontri con l'esigenza economica di contenere al massimo gli spazi coperti occupati dall'azienda.

Senza volerci addentrare più di tanto su questo (talvolta apparente) conflitto d'interessi, va evidenziato come nel caso di attività rumorose sia irrinunciabile tutelare gli spazi necessari alla bonifica acustica (esigenza particolarmente importante quando gli interventi sono sulla propagazione: cabine, cappotte ...) su tutte le principali sorgenti di rumore.

La difesa dell'integrità uditiva dei lavoratori deve essere conseguita con le stesse attenzioni della tutela della sicurezza, dell'ergonomia e della salute da ogni altro rischio; ecco allora che l'aver eccessivamente avvicinato macchine o linee produttive non avendo tenuto conto dell'esigenza di bonificare acusticamente le sorgenti rumorose, configura l'infrazione delle norme sull'igiene e la sicurezza nei luoghi di lavoro (nella fattispecie, dell'art.46, D.Lgs.277/91).

Questo tipo di attenzione deve sempre essere presente nei progettisti e nei datori di lavoro che si accingono a definire le caratteristiche di un nuovo insediamento produttivo o di un ampliamento, ma non può sfuggire a chi:

- utilizza macchine con $L_{pA} > 80 \text{ dB(A)}$
- occupa lavoratori con $L_{EP} > 80 \text{ dB(A)}$.

La pratica della valutazione presso le ASL dei nuovi insediamenti produttivi (ex art.48. D.P.R.303/56) può contribuire a rendere prassi questi principi.

Le caratteristiche geometriche degli edifici produttivi che possono avere gli effetti più apprezzabili sui livelli di esposizione a rumore sono la forma della pianta e del soffitto.

Ambienti di forma particolare, diversa dai parallelogrammi, sono da privilegiare in quanto consentono effetti acustici positivi di schermatura: ad esempio locali con pianta a L (Figura 3.4a) o a C (Figura 3.4b) di fatto determinano ambienti

sostanzialmente separati (anche se in modo imperfetto) con indubbi vantaggi sotto il profilo della propagazione acustica.

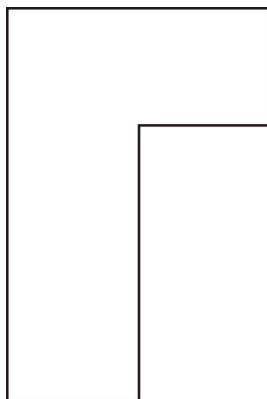


Figura 3.4a: Pianta di stabilimento a L

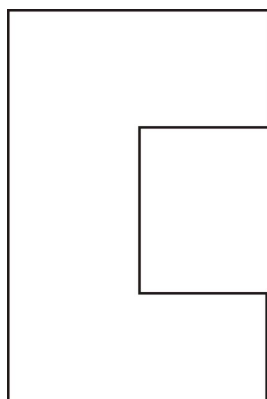


Figura 3.4b: Pianta di stabilimento a C

Relativamente alla forma del soffitto possono essere svolte le seguenti considerazioni:

- Il soffitto a volta (Figura 3.5a) è in generale da escludere, in quanto le riflessioni delle onde sonore possono determinare concentrazioni di rumore in particolari zone dell'ambiente.
- Preferibile è il soffitto piano orizzontale (Figura 3.5b) o, meglio ancora, inclinato (Figura 3.5c), poiché non causa anomale distribuzioni del livello sonoro.
- Più apprezzabili sono le soluzioni che consentono effetti di diffusione sonora (poiché presentano spigoli e configurazioni non regolari); tipico esempio è il soffitto a denti di sega (*sheds*) (Figura 3.5d).

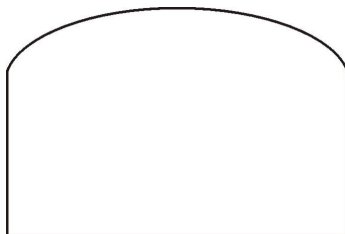


Figura 3.5a: Soffitto a volta



Figura 3.5b: Soffitto piano orizzontale

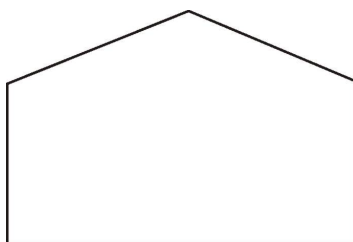


Figura 3.5c: Soffitto a doppia falda

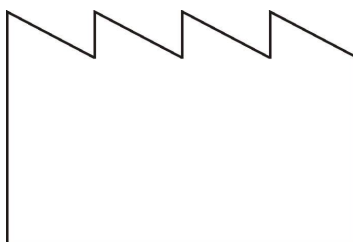


Figura 3.5d: Soffitto a denti di sega (*sheds*)

La forma del soffitto assume tanto meno importanza quanto più la zona sottostante è ingombra (es.: di tubazioni, strutture metalliche, ecc.), poiché in tal modo diminuisce il contributo delle riflessioni determinate dal soffitto e cresce l'effetto diffondente di tali elementi.

Analogamente la forma del soffitto ha un effetto molto meno rilevante nel caso in cui sia previsto un trattamento fonoassorbente dello stesso, ad esempio un controsoffitto o un sistema di assorbimento costituito da pannelli sospesi (*baffles*).

3.2.3. Stima dei livelli di esposizione negli ambienti di lavoro

Sulla base dei dati acustici relativi alle sorgenti sonore e alle caratteristiche degli ambienti di lavoro, è possibile desumere, attraverso calcoli semplificati o modelli matematici più complessi, il livello sonoro cui saranno esposti i lavoratori nelle varie aree dello stabilimento o impegnati nelle diverse attività.

Le formule più utilizzate per calcolare il livello di pressione sonora L_p esistente in un dato punto r di un ambiente industriale, richiedono la conoscenza del livello di potenza acustica della sorgente L_w , della sua direttività Q_0 , delle caratteristiche assorbenti del locale e della sua geometria (vedi le Schede 1, 2 e 24 del secondo livello per maggiori dettagli).

Negli ultimi anni sono divenuti disponibili in commercio numerosi codici (modelli) di calcolo previsionale (una rassegna di quelli attualmente disponibili in commercio è riportata nella sezione B.4 del terzo livello), che permettono valutazioni molto più raffinate e in qualsiasi tipo di ambiente di lavoro (dal punto di vista della forma e degli ingombri). Si veda al riguardo la Scheda 2 del secondo livello.

Una volta ottenuti i livelli di pressione sonora esistenti nell'ambiente è agevole ricostruire la futura esposizione dei lavoratori e ciò consente anche di individuare le priorità degli interventi.

3.2.4. Definizione degli obiettivi acustici da raggiungere

Ai fini della definizione degli obiettivi acustici da raggiungere nel nuovo insediamento produttivo o nella sua bonifica si riportano di seguito i valori ottimali consigliati dalla UNI EN ISO 11690-1:1998, paragrafo 7.1, e che si ritiene siano utilizzabili nella grande maggioranza dei casi:

- a) ambienti di lavoro di tipo industriale, da 75 a 80 dB(A);
- b) per lavoro d'ufficio o di routine, da 45 a 55 dB(A);
- c) per compiti che richiedono concentrazione, da 35 a 45 dB(A).

E' tuttavia da rilevare che in taluni settori produttivi o attività particolarmente problematiche (ad esempio: industria del vetro, tessile, smerigliatura...) occorra necessariamente fare i conti con lo stato dell'arte dell'insonorizzazione delle macchine, attrezzature, impianti dello specifico settore che in molti casi non consente di raggiungere i valori sopracitati. Non di meno si ricorda che l'impossibilità di contenere i livelli di esposizione al di sotto dei 90 dB(A) è

soggetta all'obbligo di segnalazione, ex art.45 D.Lgs.277/91, alla ASL competente per territorio.

In questo Manuale sono analizzati i principali interventi di controllo del rumore che permettono il rispetto degli obiettivi prima richiamati. Ovviamente, l'accurata valutazione sulla percorribilità di ciascuna opzione tecnica diviene sempre più importante man mano che i livelli di esposizione salgono e non può certamente essere disattesa al superamento degli 80 dB(A).

3.2.5. Interventi sul *lay-out*

Una volta stabilito che occorre intervenire per contenere i livelli di esposizione dei lavoratori, sono disponibili diverse opportunità tecniche.

In questo capitolo si tratteranno solo gli interventi di controllo del rumore che riguardano il *lay-out*; i trattamenti acustici ambientali sono discussi al successivo punto 3.2.6 e le macchine/attrezzature/impianti nel Capitolo 6.

a) Separazione delle attività non rumorose da quelle rumorose

Le attività non rumorose vanno separate da quelle particolarmente rumorose; a tal proposito si ricorda che ha pienamente valore giuridico il principio di tutela dalle esposizioni indebite sancito dall'art.19 del D.P.R.303/56.

In genere numerosi sono i lavoratori indebitamente esposti a rumore pur non essendo associati operativamente a macchine o attività rumorose. Si tratta di lavoratori che, in ambienti ad elevata rumorosità, svolgono attività ausiliarie caratterizzate, invece, da un basso livello di rumore, quali la pulizia, la manutenzione e la riparazione di singoli elementi, la pianificazione della produzione, l'imballaggio, la verifica o il collaudo del prodotto, ecc.

Al fine di limitare tale esposizione indebita si può:

- segregare le aree occupate dalle macchine rumorose
- segregare le aree occupate dai lavoratori indebitamente esposti a rumore fin quasi a prefigurare cabine di riposo acustico multiutente (purché, ovviamente, di dimensioni accettabili e confortevoli, particolarmente quanto a ventilazione e illuminazione).

Dette segregazioni, particolarmente efficaci quanto più sporadici sono gli interventi sul ciclo produttivo nelle sue aree rumorose, vanno realizzate con pareti (raramente si tratterà di vere e proprie opere murarie) caratterizzate da un adeguato isolamento-assorbimento acustico e particolare cura va posta nell'impedire la creazione di ponti acustici e la trasmissione di rumore attraverso aperture e intercapedini. Anche le porte e/o i portoni di tali locali devono possedere caratteristiche fonoisolanti sufficienti ad impedire la propagazione del rumore per via aerea.

Nell'impossibilità di segregare conviene concentrare macchine e attività rumorose in aree periferiche del reparto (ad esempio in prossimità di un'unica parete eventualmente rivestita di materiale fonoassorbente).

b) Schermatura di attività rumorose

Alcune attività particolarmente rumorose possono essere acusticamente isolate dal resto dell'ambiente di lavoro, pur dello stesso capannone. Questa soluzione si presta particolarmente per attività quali la pressatura, la molatura, la saldatura, il taglio e la tranciatura, che hanno bisogno di rimanere collegate con le aree produttive vicine (ad es.: per carico/scarico con carri ponte).

L'isolamento delle sorgenti dal resto dell'ambiente e/o il loro isolamento reciproco può essere realizzato mediante schermi fonoisolanti-fonoassorbenti, fissi o mobili, che circondino, quanto più possibile la sorgente. Se le posizioni da separare acusticamente sono a ridosso delle pareti, gli schermi assumono in pianta, la forma a L o a T (Figura 3.6). In questo caso, l'interno delle pareti deve avere buon potere fonoassorbente (è normalmente da prevederne un trattamento acustico).

In generale, l'efficacia della schermatura di sorgenti sonore è ottimale quanto più le condizioni acustiche ambientali sono prossime a quelle di campo sonoro libero. Ciò significa che il trattamento acustico ambientale dell'area del soffitto sovrastante le zone schermate è quasi sempre una necessaria misura integrativa. Come schermi di separazione tra zone più rumorose e zone meno rumorose si possono utilizzare anche le aree di stoccaggio dei materiali (Figura 3.7).

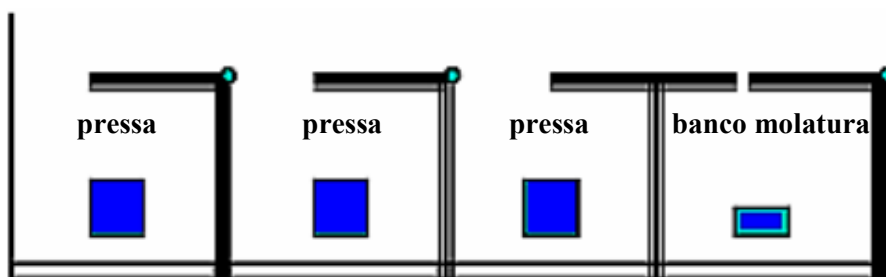


Figura 3.6: Schermi a forma di L o T

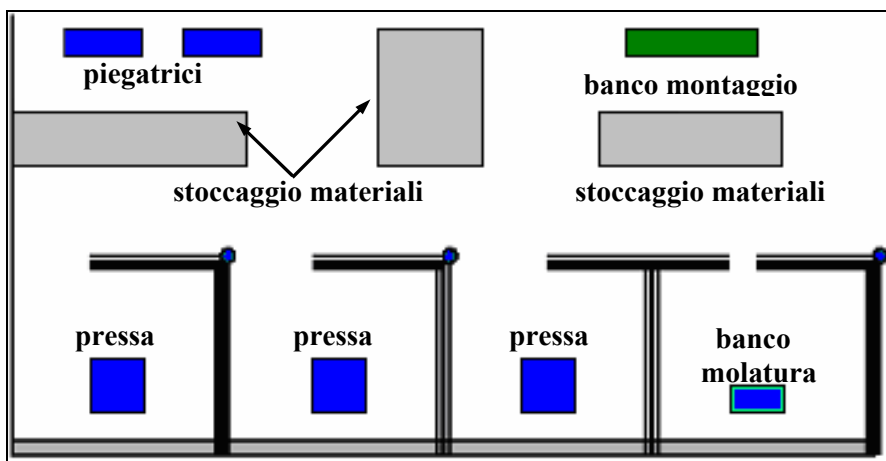


Figura 3.7: Aree di stoccaggio dei materiali utilizzate come schermi

c) Collocazione delle macchine rumorose

Se non si ha intenzione di cabinare o schermare la macchina, va evitato di collocarla in prossimità di una singola parete o peggio in corrispondenza dell'angolo formato da due pareti, con ciò indirizzando tutta l'energia acustica irradiata dalla sorgente nel solo spazio disponibile ove, quindi, si riscontreranno livelli di rumore più elevati.

Il rumore irradiato da una sorgente sonora è incrementato se questa è posta in prossimità di superfici acusticamente riflettenti; ovviamente il problema viene ridotto se le superfici riflettenti vengono rivestite con materiale fonoassorbente.

d) Automazione (allontanamento dell'operatore dalle sorgenti)

L'automazione in sé non abbassa i livelli di rumore nell'ambiente di lavoro; può invece contribuire a ridurre i livelli di esposizione in quanto permette di allontanare operatori da postazioni a rischio.

Tutte le volte in cui è possibile, si dovrebbero quindi utilizzare sistemi di comando a distanza o sistemi che permettano all'operatore di allontanarsi maggiormente dalla sorgente di rumore. Questa soluzione è particolarmente adatta ai casi in cui l'operatore staziona normalmente in una cabina di riposo acustico.

Inoltre, anche l'automazione delle lavorazioni (es.: effettuare una demolizione con una macchina operatrice piuttosto che con un martello demolitore manuale) consente l'allontanamento dell'operatore dalla sorgente rumorosa e la conseguente riduzione dell'esposizione. Nel caso in esempio alla riduzione dell'esposizione a rumore si può accompagnare la riduzione dell'esposizione a molti altri rischi per la salute, ed in particolar modo quelli da vibrazioni.

e) Uffici interni agli stabilimenti

Come criterio generale, non si devono porre gli uffici a ridosso di zone e/o macchine rumorose. In caso contrario occorre mettere in campo un'attenzione supplementare alle soluzioni e materiali affinché questi garantiscano il comfort acustico necessario per l'attività prevista.

Per tali ambienti occorrerà, quindi, rispettare i requisiti acustici indicati nel successivo paragrafo 4.1, fatto salvo che la prossimità di sorgenti particolarmente rumorose non richieda prestazioni maggiori.

Per concludere, si consideri che alcuni di questi interventi (con particolare riferimento ai punti a) e c)), troppo spesso trascurati, sono a costo praticamente nullo, soprattutto se realizzati in fase di progettazione.

3.2.6. Trattamenti fonoassorbenti ambientali

I trattamenti fonoassorbenti ambientali sono un intervento la cui adozione va attentamente valutata.

Sia la teoria della propagazione del suono negli spazi confinati che i risultati sperimentali (vedi Figura 3.8) dimostrano infatti che nei comuni ambienti industriali le modificazioni apportabili al campo sonoro esistente al loro interno,

attraverso i trattamenti fonoassorbenti delle superfici, comportano vantaggi apprezzabili (in termini di riduzione dei livelli sonori) solo a distanze significative dalla sorgente. Nel cosiddetto campo sonoro vicino (ossia in prossimità delle sorgenti) le differenze, quando ci sono, risultano invece spesso trascurabili o modeste.

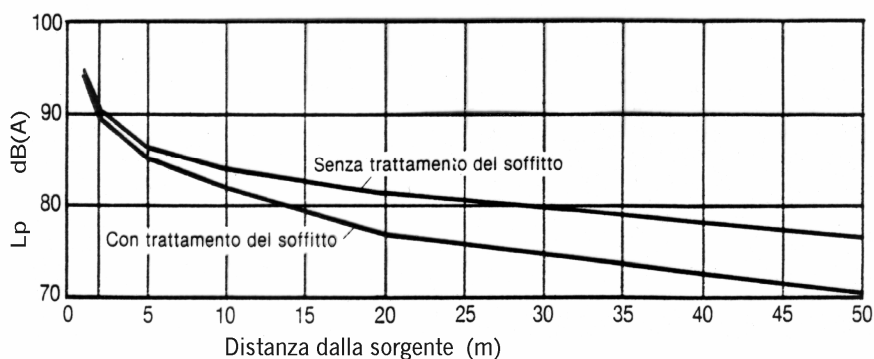


Figura 3.8: Curve di decremento del livello sonoro in funzione della distanza dalla sorgente misurate in un capannone industriale prima e dopo il trattamento del soffitto con pannelli fonoassorbenti sospesi (*baffles*)

Infatti, per gli operatori che lavorano a diretto contatto con le macchine, il livello di rumore a cui sono esposti è determinato in misura prevalente dall'energia sonora irradiata per via diretta dalla propria macchina; risulta invece generalmente poco influente il contributo dell'energia riflessa dalle superfici rigide non trattate del locale.

D'altra parte, studi sperimentali effettuati negli ultimi anni hanno dimostrato che in ambienti in cui l'altezza è molto inferiore alle dimensioni in pianta del locale (ambienti "bassi e vasti", come molti edifici industriali), l'efficacia dei trattamenti fonoassorbenti ambientali è superiore a quanto prefigurato dall'acustica teorica da cui è tratto il diagramma di Figura 3.8. Inoltre, come già detto nel Capitolo 2, occorre considerare che i guadagni ottenibili con il fonoassorbimento seppure inferiori in termini numerici rispetto agli interventi sulle sorgenti, corrispondono a guadagni in termini di decibel che si trasferiscono interamente sui L_{EP} e agiscono prevalentemente sulle componenti a media-alta frequenza, che sono quelle più pericolose per l'udito e le più fastidiose dal punto di vista ergonomico. Un ulteriore vantaggio dei trattamenti fonoassorbenti ambientali è che essi quasi mai interagiscono con le modalità produttive che possono mantenere così i propri gradi di flessibilità.

Fatte queste considerazioni, si possono individuare almeno le seguenti situazioni ambientali in cui il ricorso ai trattamenti fonoassorbenti superficiali può costituire una misura utile, anche se raramente risolutiva (per ulteriori approfondimenti vedi Scheda 20):

1. Presenza in uno stesso ambiente, con gli addetti distribuiti in quasi tutte le aree, di molteplici sorgenti di rumore, ciascuna con basso tempo di utilizzo (es.: linee di montaggio con uso saltuario di avvitatori o sbavatrici da banco). In un tale ambiente il guadagno sui livelli di esposizione può risultare sensibile perché è dominante il contributo dei rumori provenienti da lavorazioni in distanza.
2. Presenza in uno stesso ambiente di sorgenti molto rumorose, ad esempio due o tre macchine utensili di grandi dimensioni, poste a sensibile distanza l'una dall'altra. In questo tipo di situazione il trattamento fonoassorbente del soffitto può risultare vantaggioso per gli operatori che in questo modo evitano di subire la rumorosità, se non della propria macchina, almeno di gran parte di quella prodotta dalle altre macchine distanti.
3. Sistemazione obbligata di una macchina nelle immediate vicinanze di più superfici riflettenti, ad esempio nell'angolo di un locale, il cui soffitto è basso (es: situato ad un'altezza inferiore a 5 metri). In questo caso l'adozione di rivestimenti fonoassorbenti può comportare una diminuzione di circa 3 dB del livello sonoro esistente nella postazione di lavoro.
4. Presenza in un capannone industriale di macchine che generano un rumore con forti componenti impulsive, ad esempio presse o magli. In questo caso le grandi dimensioni determinano, generalmente, un'elevata riverberazione ambientale che comporta, ad ogni impatto, il persistere nel locale di elevati livelli sonori. La capacità dei rivestimenti fonoassorbenti superficiali di "assorbire" rapidamente l'energia sonora che si propaga nell'ambiente dopo ogni impatto evita tale persistenza, riducendo talvolta in modo significativo il rumore a cui sono esposti i lavoratori.
5. Necessità di installare nell'ambiente considerato degli schermi, la cui efficacia, come si è accennato al punto 3.2.5 e si riprenderà nel paragrafo 6.3, è ottimale quanto più le condizioni acustiche ambientali sono prossime a quelle di campo sonoro libero. In un locale molto riverberante, infatti, l'effetto barriera viene totalmente vanificato dal gran numero di riflessioni che scavalcano lo schermo (Figura 3.9). L'adozione di trattamenti superficiali fonoassorbenti diviene quindi in questo caso un indispensabile complemento all'impiego delle barriere.

Nell'individuazione dell'opportunità di un trattamento fonoassorbente vanno inoltre tenuti presenti i seguenti aspetti:

- a) il costo di un intervento deciso in fase progettuale è inferiore a quello di un intervento realizzato a insediamento produttivo in essere, con le macchine installate e funzionanti, data la maggior complessità di modificare ambienti esistenti e le possibili interferenze con la produzione;
- b) negli ambienti molto vasti (come sono la gran parte degli stabilimenti industriali) l'unica superficie che può essere utilmente resa fonoassorbente è il soffitto (poiché la gran parte delle riflessioni acustiche avvengono tra pavimento e soffitto e il pavimento non è generalmente oggetto di possibile modifica);
- c) qualora per esigenze acustiche si intenda adottare un controsoffitto è utile ricordare anche le possibili implicazioni di risparmio energetico (infatti in tale

- prospettiva l'altezza del soffitto effettivo viene ridotta e nella scelta del materiale è opportuno valutare anche il suo coefficiente di isolamento termico);
- d) un rivestimento fonoassorbente sul soffitto quando questo sia già in gran parte coperto da elementi strutturali o impiantistici o di altra natura (che diffondono le onde sonore) ha una minore efficacia acustica e quindi va soppesato attentamente;
 - e) l'adozione di trattamenti acustici ambientali può avere forti ripercussioni negative sull'aerazione e l'illuminazione degli ambienti di lavoro; in situazioni del genere è preferibile il ricorso a pannelli (*baffles*) sospesi al soffitto.

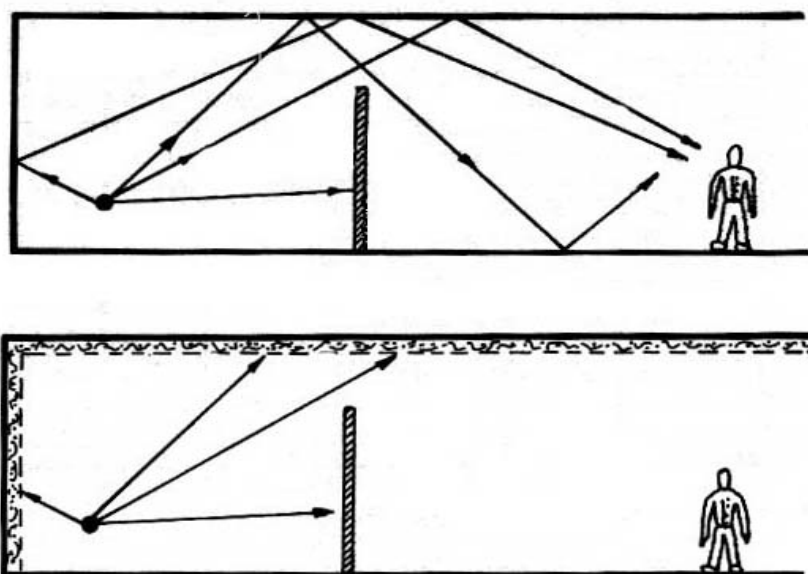


Figura 3.9: Schematizzazione dell'effetto dei trattamenti fonoassorbenti superficiali nel caso di impiego di barriere fonoisolanti in uno spazio chiuso

4. PRESTAZIONI ACUSTICHE E CRITERI DI PROGETTAZIONE E BONIFICA PER SPECIFICI LUOGHI DI LAVORO

Il controllo dei requisiti acustici dei locali è una delle condizioni che concorrono al benessere degli occupanti di un edificio.

Se esaminati a seconda della loro destinazione d'uso, gli ambienti di lavoro possono essere raggruppati in grandi categorie sulla base del fatto che ospitano lavoratori ed occupanti con esigenze, in prima approssimazione, simili.

In questo capitolo verranno ripresi i principali requisiti acustici per alcune delle più importanti categorie di destinazione d'uso di locali ed edifici, escludendo i locali industriali già oggetto di specifica trattazione.

In dettaglio, saranno esaminati i requisiti acustici dei locali adibiti ad uffici, ad alcune attività commerciali ed alle discoteche, ad uso scolastico e ad uso sanitario.

Da sottolineare che le caratteristiche indicate nel seguito (e sintetizzate da ultimo in una specifica tabella) vanno, in primo luogo, ricercate in fase di progettazione dei nuovi insediamenti produttivi e delle ristrutturazioni di aziende esistenti, ma sono utilizzabili anche in fase di realizzazione di interventi di bonifica acustica.

Negli ambienti di lavoro non industriali oggetto di questo approfondimento si svolgono tipicamente attività di tipo cognitivo e relazionale, nelle quali i lavoratori ricevono, elaborano, producono e scambiano frequentemente informazioni principalmente attraverso la voce parlata.

Pur essendo assai diversificate tra loro, le sorgenti sonore che possono causare rischio o disturbo negli ambienti di lavoro non industriali, sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- *sorgenti esterne* il cui rumore si trasmette attraverso le pareti delimitanti l'edificio o l'ambiente. Assai frequente è il rumore proveniente dal traffico stradale, ferroviario, ecc. (clima acustico), ma può risultare rilevante anche quello di altre sorgenti sonore all'interno dell'edificio stesso (ad esempio quello derivante da processi di lavorazione per uffici adiacenti la produzione);
- *impianti tecnici dell'edificio* quali impianti di climatizzazione dell'aria e ventilazione, ascensori, condutture idrauliche, ecc., situazioni nelle quali può essere importante il contributo del rumore diffuso per via strutturale;
- *apparecchiature funzionali all'attività* che possono essere di volta in volta generati da telefoni, fotocopiatrici, stampanti, casse, impianti di diffusione, amplificatori e apparecchiature in genere, ecc...;
- *attività antropiche* tra le quali la più ricorrente è la voce umana, ma vanno anche ricordate il canto e la musica, gli urti e i rumori impattivi legati alle attività dell'uomo.

Non deve poi essere dimenticato il problema inverso del disturbo causato dalle suddette attività alle abitazioni prossime o appartenenti allo stesso edificio; ad esempio la coesistenza di attività pur non eccessivamente rumorose esercitate però in orari particolari (es. la panificazione o l'esercizio di bar/gelaterie/paninoteche

induce molto spesso situazioni di contenzioso col vicinato di difficile gestione amministrativa).

I livelli di esposizione sonora rilevabili in questo tipo di ambienti solitamente non sono di entità tale da causare danni all'apparato uditivo, ma possono contribuire all'insorgenza di fenomeni di disturbo (*annoyance*) e di disagio.

Ambienti eccessivamente rumorosi inducono fatica e costituiscono causa di distrazioni e di errori nello svolgimento dell'attività lavorativa; rumori impulsivi inattesi possono produrre trasalimenti e reazioni di sorpresa particolarmente sgradite quanto più il soggetto è concentrato sul proprio lavoro. D'altro canto, l'eccessiva carenza di stimoli sonori può indurre una sensazione di isolamento che, qualora ritenuta non funzionale all'attività svolta, è causa di deconcentrazione.

Per quanto riguarda gli uffici è necessario che il rumore nelle postazioni di lavoro non pregiudichi la concentrazione richiesta per lo svolgimento dell'attività, nonché l'intelligibilità e la riservatezza della conversazione, principalmente negli uffici cosiddetti a pianta aperta (*open space*).

Negli ambienti scolastici e comunitari il rumore influenza direttamente la fonazione degli insegnanti e le condizioni di ascolto degli studenti, con conseguenze sull'affaticamento dei docenti e sull'apprendimento scolastico. Solo raramente, ed in ambienti particolari (officine, alcuni tipi di laboratori) i livelli sonori rilevabili raggiungono entità tale da poter causare danni all'apparato uditivo.

L'eccessivo rumore (di fondo o, ancor più, ambientale) presente all'interno degli ambienti comunitari destinati all'ascolto della parola o della musica, determina una riduzione dell'intelligibilità del messaggio vocale o della percezione del brano musicale, attraverso due meccanismi che riguardano il mascheramento uditivo e la diminuzione dell'attenzione da parte degli ascoltatori. La riverberazione, oltre a ridurre l'intelligibilità per gli ascoltatori, condiziona la regolazione del volume della voce degli oratori con conseguente affaticamento degli stessi.

Negli altri tipi di ambienti, dove vengono svolte attività principalmente non connesse con l'ascolto della musica o della parola, i requisiti acustici possono comunque svolgere un ruolo importante ai fini della fruizione degli ambienti stessi; si pensi alla situazione di stress che si prova in una mensa affollata e riverberante dove, per la difficoltà che si ha a comprendere i messaggi vocali ed a farsi comprendere, si finisce con l'alzare a propria volta il volume della voce in un crescendo che non sempre ammette soluzione. Non mancano poi ambienti i cui livelli sonori sono anche in grado di provocare danni di tipo uditivo, certamente nei laboratori, talvolta nei frequentatori. Altro ambiente in cui si possono riscontrare problemi è quello delle discoteche, dove il rispetto delle esigenze dei frequentatori non determina parimenti anche il rispetto delle esigenze del lavoratore; infatti, il personale lavoratore (DJ, camerieri, barman), se non specificamente tutelato, può trovarsi in condizioni di rischio per la funzionalità uditiva anche nel caso di rispetto di tutte le normative nate a tutela di possibili disturbati e della salute dei frequentatori.

Nei locali di edilizia sanitaria (ospedali, case di cura, day hospital, poliambulatori) i problemi di esposizione a rumore riscontrabili nella maggior parte delle situazioni, non sono in genere legati al rischio di danno uditivo ma al disagio causato agli

operatori ed agli utenti della struttura, con possibili compromissioni della qualità ed efficacia delle prestazioni sanitarie erogate.

Tra le rare eccezioni in cui può configurarsi un rischio di tipo uditivo per i lavoratori deve essere ricordato il caso degli ambienti in cui si effettua il taglio dei gessi, con livelli di rumore molto elevati anche se per periodi di tempo generalmente limitati.

In generale gli effetti del rumore nei locali adibiti ad attività di lavoro non industriali, costituiscono un problema da non sottovalutare in relazione al progressivo aumento del numero di addetti e del modificarsi sia delle tecnologie costruttive di ambienti, arredi, strumenti di lavoro, sia delle caratteristiche delle attività svolte.

4.1. PARAMETRI DA CONTROLLARE E VALORI DI RIFERIMENTO

I principali descrittori delle condizioni acustiche nella tipologia di ambienti esaminati in questo documento sono:

- il livello di esposizione: L_{EP} definito come il livello equivalente di pressione sonora cui è esposto il lavoratore riferito ad una esposizione normalizzata di 8h. Questo è il descrittore utilizzato per il rischio di ipoacusia professionale;
- il livello equivalente dell'ambiente: L_{Aeq} rilevato al posto operatore o a 10 cm dal suo orecchio in condizioni operative normali, ma senza tener conto dei contributi dovuti alle comunicazioni interpersonali dei presenti nell'ambiente di lavoro e riferito al tempo reale della condizione espositiva; tale livello interferisce prevalentemente con l'attenzione nei confronti del lavoro svolto;
- il rumore di fondo: L_{Aeq} rilevato nell'ambiente in assenza delle persone e dell'attività tipica del locale, ma con le infrastrutture di base in funzione (es. impianti di condizionamento dell'aria). Questo tiene conto anche del rumore che perviene dall'esterno;
- tempo di riverberazione: T_{60} misurato in s (come definito dalla norma ISO 3382:1975) ovvero, per ambienti ampi, tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza (DL_2 in dB, come definito dalla norma UNI-EN-ISO 11690-1:1998). Questi descrittori sono determinanti per l'intelligibilità del parlato, che a volte risulta insufficiente anche nel caso di rumore di fondo trascurabile qualora l'ambiente sia eccessivamente riverberante.

Nel panorama legislativo italiano non esistono ad oggi provvedimenti che prescrivano valori da rispettare per i suddetti parametri. In particolare non sono valori numerici da rispettare i livelli di riferimento indicati nel D.Lgs.277/91 (80, 85 e 90 dB(A)), che costituiscono invece, più propriamente, dei valori al di sopra dei quali occorre attivare specifici protocolli di prevenzione.

Tuttavia il D.Lgs.626/94 (art.3, comma 1, lettera b) dichiara l'esigenza della "eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non sia possibile, loro riduzione al minimo" (come del resto affermato anche dal D.Lgs.277/91, all'art.41, comma 1 e all'art.46), nonché alla lettera f "rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, ...",

che dà così valore alle indicazioni fornite dalle norme di buona tecnica, dalle linee guida e dalla letteratura pertinente.

L'unica eccezione riguarda gli ambienti scolastici ove, in virtù del D.M. 18/12/75, sono indicati specifici valori di T_{60} da rispettare.

Inoltre esistono provvedimenti legislativi che, elaborati con l'obiettivo principale della tutela della popolazione dal disturbo da rumore, stabiliscono talune prestazioni acustiche (D.P.C.M. 14/11/97 e D.P.C.M. 05/12/97 che definiscono le classi acustiche del territorio ed i requisiti acustici passivi degli edifici) il cui rispetto, anche se non garantisce automaticamente il raggiungimento delle condizioni del comfort acustico lavorativo, si è reputato concorrano a questo obiettivo e quindi significativi.

A tutto ciò si aggiungano le indicazioni desumibili dalla UNI 8199:1998 relativamente agli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione.

Oltre ai parametri già definiti, quelli ulteriormente da considerare sono quindi:

- l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT,w}$ in dB, che descrive l'attenuazione alla trasmissione di rumore per via aerea richiesta alle pareti perimetrali per limitare tanto l'ingresso di rumori esterni, quanto l'effetto di rumori interni nei confronti di ricettori esterni;
- l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente, R'_w in dB, che descrive l'isolamento acustico per via aerea delle pareti e dei solai di separazione con altre unità immobiliari. Nel caso di strutture di confine tra unità immobiliari a diversa destinazione d'uso, si applica il valore più rigoroso;
- l'indice di valutazione del livello normalizzato di rumore di calpestio, $L_{n,w}$ in dB, che indica il valore massimo del rumore di calpestio che l'ambiente in oggetto (ambiente "disturbante") può indurre in un ambiente sottostante (ambiente "disturbato");
- il livello massimo di pressione sonora, ponderata A, con costante di tempo slow, $L_{AS,max}$ in dB(A), che indica il valore massimo per la rumorosità degli impianti a ciclo discontinuo quali gli ascensori e gli impianti idraulici;
- il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, L_{Aeq} in dB(A), che indica il valore massimo per la rumorosità degli impianti a ciclo continuo quali gli impianti di riscaldamento, condizionamento e aerazione;
- il livello corretto del rumore di impianto, L_{ic} in dB(A), che indica il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A, prodotto dal solo impianto di riscaldamento, condizionamento o ventilazione, e corretto per tenere conto delle eventuali componenti impulsive e/o tonali e delle caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente di misura come da UNI 8199:1998

Questi descrittori valgono sostanzialmente per tutti i tipi di locali qui considerati se pur con diverse sfumature. Ad esempio, i locali comunitari e di pubblico spettacolo presentano esigenze acustiche estremamente differenziate che, in generale, possono essere ricondotte all'esigenza di favorire l'intelligibilità del parlato e/o dei segnali

musicali. I principali descrittori delle condizioni acustiche di questi ambienti sono quindi ancora il L_{EP} (livello di esposizione), il L_{Aeq} ambientale, il rumore di fondo ma, soprattutto, il tempo di riverberazione.

4.1.1. Uffici

Per realizzare uffici dotati di buon comfort acustico occorre che nella progettazione siano privilegiati gli uffici a vano chiuso rispetto alle configurazioni con pareti laterali di altezza limitata al controsoffitto, per le quali la trasmissione sonora interessa aree più ampie a causa della propagazione sonora attraverso controsoffitti e/o canalizzazioni di condizionamento dell'aria.

Quando gli uffici sono ubicati in zone con clima acustico non compatibile con le attività svolte, o in prossimità di strutture produttive rumorose, il conseguimento dei requisiti acustici sopra indicati richiede un adeguato potenziamento degli interventi da attuare. È da evitare, inoltre, che l'attività svolta nell'ufficio produca immissioni sonore nei vani limitrofi non compatibili con la destinazione d'uso di questi ultimi (ad esempio appartamenti sottostanti). Il capitolato di acquisto dei principali impianti ed apparecchiature, incluse quelle direttamente pertinenti all'attività di ufficio (fotocopiatrici, stampanti, telefoni, ecc.), dovrebbe richiedere l'indicazione della loro emissione sonora al fine di privilegiare quelli a minore emissione.

Affinché il rumore nelle postazioni di lavoro non interferisca con l'attività svolta si deve perseguire il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) livello equivalente ambientale: la UNI EN ISO 11690-1:1998 indica che non debba essere superiore a 45 dB(A) per compiti che richiedono concentrazione, non superiore a 55 dB(A) in uffici singoli e per compiti di routine, e non superiori a 65 dB(A) per uffici *open-space*.
- b) rumore di fondo non superiore a 40 dB(A) per uffici singoli, non superiore a 45 dB(A) per quelli *open-space* (UNI EN ISO 11690-1:1998);
- c) livello corretto del rumore di impianto L_{ic} non superiore a 35 dB(A) per uffici singoli ad attività progettuale, non superiore a 40 dB(A) per uffici singoli ad attività di routine e non superiori a 45 dB(A) per quelli *open-space* (UNI 8199:1998);
- d) tempo di riverberazione T_{60} compreso tra 0,5 e 1 s nella gamma di frequenza da 250 Hz a 4 kHz e comunque non superiore ai valori indicati nella Tabella 4.1 di seguito riportata.

Per la tutela della riservatezza della conversazione, trattandosi di prestazioni acustiche di tramezzi interni non soggetti a limiti di alcuna legislazione, si suggerisce un valore ottimale $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici. Il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese.

Tabella 4.1: Tempo massimo di riverberazione in funzione del volume del locale (UNI EN ISO 9241-6:2001, prospetto B.2)

Volume del locale (m ³)	Tempo massimo di riverberazione raccomandato (s)	
	Conversazione	Scopo generale
50	non specificato	non specificato
100	0,45	0,8
200	0,60	0,9
500	0,70	1,1
1.000	0,80	1,2
2.000	0,90	1,3

4.1.2. Attività commerciali

Negli ambienti adibiti ad attività commerciale, in generale, è necessario realizzare condizioni tali da favorire l'intelligibilità del parlato, tanto per i lavoratori quanto per gli acquirenti. In prima approssimazione si deve infatti convenire che, in questa tipologia di ambienti (come per quelli ad uso scolastico e sanitario) il rispetto delle esigenze dell'acquirente (ovvero delle esigenze didattiche o delle esigenze degli utenti) determina anche il rispetto delle esigenze del lavoratore.

Per quanto riguarda più specificamente i centri commerciali, generalmente strutturati su di una prima sezione di grande superficie (supermercato con magazzini e locali di servizio), una seconda di raccordo (galleria) ed una terza di medie/piccole dimensioni (negozi), si verificano spesso i seguenti problemi:

- la tipologia dell'edificio richiede generalmente un impiego rilevante di superfici che devono essere trasparenti (vetrate) e che male si sposano con le esigenze di contenimento della propagazione sonora;
- i negozi prospicienti la galleria hanno solitamente pareti di contenimento con caratteristiche di ridotto isolamento mentre la galleria centrale presenta spesso un tetto con caratteristiche di spiccata riflessione verso il basso;
- le infrastrutture comuni (impianti di refrigerazione per apparecchiature frigorifere, impianti di condizionamento dell'aria, ecc.) sono generalmente rumorose e non sempre progettate con criteri di contenimento della rumorosità ambientale. Si verificano pertanto in opera problemi di rumore aerodinamico, vibrazioni nei condotti, rumorosità indotta da pompe, ecc.

In generale occorrerà quindi fornire al progettista dell'edificio commerciale la destinazione d'uso dei singoli negozi (o, comunque, almeno di quelli acusticamente più critici) per metterlo nelle condizione di creare efficaci interventi progettuali.

Tutti gli interventi effettuati per conseguire il corretto tempo di riverberazione T_{60} mediante trattamento delle superfici (soffitto e pareti laterali) con materiali e/o strutture fonoassorbenti, dovranno poi utilizzare preferibilmente il solo soffitto, ricorrendo a materiali che resistano anche al fuoco, siano facilmente pulibili (particolarmente problematici i tendaggi e le moquette) avendo attenzione a salvaguardare i requisiti di illuminamento e di ventilazione delle postazioni di lavoro.

Per la definizione delle caratteristiche fonoassorbenti dei locali, del rumore degli impianti aeraulici, del rumore di fondo e dei livelli di esposizione ove possibile si è invece fatto riferimento alle norme UNI EN ISO 11690-1:1998 e UNI 8199:1998 utilizzando i dati di Letteratura ed i dati sperimentali a disposizione dei componenti il Gruppo di Lavoro per i restanti valori.

Affinché il rumore nelle postazioni di lavoro non interferisca con l'attività svolta, nella normalità dei casi, si deve perseguire il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) livello equivalente ambientale L_{Aeq} non superiore a 65 dB(A) per gli addetti degli alberghi ed a 70 dB(A) per le mense, ristoranti, bar, negozi ;
- b) rumore di fondo non superiore a 45 dB(A);
- c) livello corretto del rumore di impianto L_{ic} non superiore ai valori evidenziati nella Tabella 4.2;
- d) tempo di riverberazione T_{60} o tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza DL_2 non superiori ai valori indicati nella Tabella 4.3 a seguito.

Tabella 4.2: Rumorosità massima degli impianti aeraulici in ambienti adibiti ad attività commerciali secondo la UNI 8199:1998 (dal prospetto 2)

Destinazione d'uso del locale	dB(A)
Hotel:	
- camere da letto	30
- sale riunioni	35
- servizi	40
- sale da pranzo	45
Ristoranti, bar e negozi	45

Tabella 4.3: Caratteristiche acustiche consigliate per ambienti di lavoro in funzione del volume del locale (UNI EN ISO 11690-1:1998, prospetto 3)

Volume del locale $V (m^3)$	Tempo di riverberazione $T_{60} (s)$	Tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza DL_2 (dB)
< 200	< 0,5 – 0,8	
200 ÷ 1.000	0,8 ÷ 1,3	
> 1.000	-	> 3 - 4

Anche in questo caso per la tutela della riservatezza della conversazione, trattandosi di prestazioni acustiche di tramezzi interni non soggetti a limiti di alcuna legislazione, si suggerisce un valore ottimale $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici. Il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese.

4.1.3. Ambienti comunitari e di pubblico spettacolo: discoteche

Si possono definire ambienti comunitari e di pubblico spettacolo gli ambienti specificamente destinati all'ascolto della parola o della musica (sale per conferenze, teatri, cinema, auditorium, discoteche ecc.) o gli ambienti pubblici chiusi destinati allo svago, alla lettura, alla preghiera (sale giochi, palestre, palasport, piscine, sale d'aspetto di stazioni o aeroporti, mense, biblioteche, pinacoteche, musei, chiese).

I livelli sonori rilevabili in questo tipo di ambienti non sono solitamente di entità tale da causare danni all'apparato uditivo ed anzi, in taluni casi ci si trova di fronte ad ambienti silenziosi nei quali possono svolgersi attività ad elevata concentrazione nelle quali l'eccessivo rumore è causa unicamente di distrazione e disturbo. In altri contesti intermedi, livelli di rumore più elevati possono contribuire all'insorgenza di fenomeni di *annoyance*, ma non mancano ambienti i cui livelli sonori sono anche in grado di provocare danni di tipo uditivo, certamente nei lavoratori, talvolta nei frequentatori. Ad esempio nelle discoteche il rispetto delle esigenze dei frequentatori non determina parimenti anche il rispetto delle esigenze del lavoratore, infatti, il personale che lavora (DJ, camerieri, barman) se non specificamente tutelato, può trovarsi in condizioni di rischio per la funzionalità uditiva anche nel caso del rispetto di tutte le normative nate a tutela di possibili disturbati e della salute dei frequentatori.

Il riferimento normativo riferito agli avventori per i luoghi di intrattenimento danzante è costituito dal D.P.C.M. 16/04/99 che definisce dei livelli massimi di pressione sonora consentiti, misurati in corrispondenza delle posizioni più esposte, accessibili al pubblico. Nel caso di superamento dei valori massimi devono essere adottati provvedimenti da parte dei gestori dei locali.

Il contenimento del rischio nelle discoteche deve basarsi sull'installazione di altoparlanti a bassa potenza, direzionali e con limitatori di potenza in emissione, sulla separazione acustica della postazione DJ dalla pista, realizzando box a bassa rumorosità, sul distanziamento della zona bar e comunque su una generale progettazione e organizzazione mirata degli ambienti.

Affinché il rumore nelle postazioni di lavoro non interferisca con l'attività svolta, nella normalità dei casi occorre che i valori del livello di esposizione (L_{EP}) rimangano contenuti nei 55-65 dB(A) per il personale amministrativo. Questi possono salire a 65-75 dB(A) per il personale addetto alla reception (biglietteria, guardaroba ...), raggiungere e superare gli 80 dB(A) per il personale di sala (barman, camerieri, personale della sicurezza ...).

Particolarmente problematico si presenta poi il controllo dell'esposizione del personale che esegue l'attrazione (DJ, orchestrali ...). Relativamente a questi aspetti, poiché nella nuova direttiva comunitaria sull'esposizione a rumore negli ambienti di lavoro (Direttiva 2003/10/CE) è previsto che sia realizzato un "codice di condotta" recante orientamenti pratici per aiutare gli operatori dei settori musica e intrattenimento ad adempiere agli obblighi giuridici stabiliti dalla direttiva, ivi compreso il rispetto dei nuovi limiti di esposizione fissati in 87 dB(A) / 140 dB(C)_{picco}, si rimanda alle indicazioni di tale, futuro, codice.

Di seguito, infine, vengono elencati alcuni dei principali aspetti da considerare nella progettazione di una discoteca o nella sua bonifica:

- scelta di aree con clima acustico adeguato ponendo particolare attenzione al disturbo agli insediamenti vicini anche per le movimentazioni d'accesso ai locali;
- rispetto/ripristino dei requisiti acustici passivi (attenzione alle trasmissioni di rumore per via solida), potenziandoli in ragione dei risultati dello studio di impatto ambientale dell'insediamento;
- rispetto/ripristino dei requisiti di fonoassorbimento ambientali;
- installare altoparlanti a bassa potenza, direzionali e con limitatori di potenza in emissione;
- distanziare/schermare la zona bar dalla pista;
- separare la postazione DJ dalla pista avendo come obiettivo acustico: $L_{Aeq} < 80$ dB(A);
- per la tutela degli orchestrali, agire sul controllo dei tempi di esposizione in attesa del codice di comportamento che verrà prodotto in relazione all'emanazione della Direttiva 2003/10/CE;
- tarare accuratamente il volume degli amplificatori auricolari (esempio: DJ, personale di collegamento, di sorveglianza/sicurezza...) e controllare i livelli di esposizione di chi li usa;
- formulare sempre un capitolato d'acquisto con limiti acustici per tutte le principali infrastrutture (impianti di riscaldamento, condizionamento o ventilazione, ..., vedi Scheda n. 6).

4.1.4. Ambienti scolastici

Per le scuole, dalle materne alle secondarie superiori, sono in vigore i requisiti stabiliti dal D.M. 18/12/75 (*"Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica"*).

In generale, negli ambienti adibiti ad attività scolastiche è necessario realizzare condizioni tali da favorire l'intelligibilità del parlato, tanto per i docenti quanto per i discenti.

In particolare l'isolamento acustico per via aerea minimo (D) fra ambienti adiacenti o sovrastanti del complesso scolastico misurato in opera, deve essere pari ad almeno 40 dB (il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese).

Dallo stesso provvedimento si desume il valore massimo del tempo di riverberazione al variare del volume dell'ambiente e della frequenza del suono, utilizzando i diagrammi di Figura 4.1.

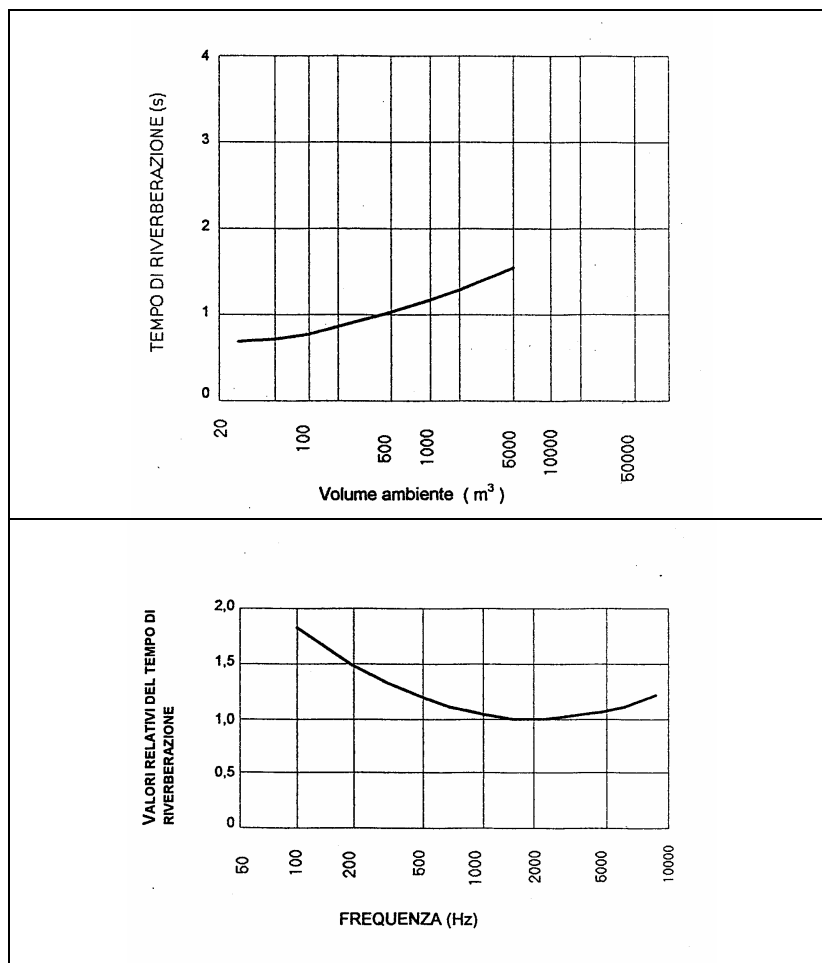


Figura 4.1. Diagrammi per il calcolo dei tempi di riverbero secondo il D.M. 18/12/75¹

¹ Nella Figura 4.1 è riportato il grafico del tempo di riverberazione massimo ammesso in funzione del volume dell'ambiente, riferito alla frequenza di 2000 Hz. Dalla Figura si ricavano i tempi di riverberazione massimi ammessi per le restanti frequenze procedendo in questo modo:

- si fissa sull'asse orizzontale il valore di frequenza del quale si vuole verificare il limite e sull'asse verticale si legge il valore del fattore moltiplicativo corrispondente a quella frequenza;
- moltiplicando questo fattore per il tempo di riverberazione precedentemente ricavato sull'altro grafico (riferito a 2000 Hz), si ottiene il tempo di riverberazione massimo ammesso per la frequenza in oggetto;
- si ripete l'operazione per tutte le frequenze che interessano.

In linea generale si deve cercare il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) valori del livello di esposizione che possono rimanere contenuti nei 55-65 dB(A) per il personale amministrativo e per i docenti di materie teoriche delle scuole medie e superiori, ma possono salire sino a 65-70 dB(A) ed anche 80 dB(A) nelle scuole dell'infanzia, nelle palestre e in taluni laboratori (es.: meccanica, musica). Chi opera in questi ambienti, ovviamente anche per la presenza degli studenti, non dovrebbe comunque mai superare gli 80 dB(A) di L_{EP} . Particolarmente problematico si presenta il controllo dell'esposizione dei docenti (e degli studenti) nelle lezioni musicali pratiche, per i quali si rinnova il rimando al prossimo "codice di condotta" che verrà realizzato a seguito del recepimento della direttiva 2003/10/CE (vedi punto precedente);
- b) valori del livello continuo equivalente del rumore di fondo, rilevato in assenza delle persone, non superiori a 40 dB(A) nelle aule, ma che possono salire a 45 dB(A) nelle palestre;
- c) livello corretto del rumore di impianto (L_{ic} , secondo la UNI 8199:1998) attribuibile ai soli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione non superiore a 30 dB(A) nelle aule e a 40 dB(A) nelle palestre.

Infine, alcuni dei principali aspetti da considerare nella progettazione di un edificio scolastico o nella sua bonifica, sono riportati a seguito:

- scegliere aree con clima acustico adeguato (tipicamente: Classe I) ovvero, nell'impossibilità reale, con livelli sonori comunque inferiori a 55 dB(A). Si ricorda che per questo tipo di insediamenti è richiesta una "valutazione previsionale del clima acustico" da allegare al progetto secondo l'art 8 della Legge 447/95 i cui criteri di redazione sono fissati dalle Regioni;
- rispettare/ripristinare i requisiti acustici passivi (attenzione alle trasmissioni di rumore per via solida), potenziandoli in ragione del clima acustico della zona in cui è collocato l'edificio. Particolare attenzione va posta ai requisiti di fonoassorbimento ambientale, utilizzando preferibilmente il solo soffitto e senza pregiudicare la pulibilità degli ambienti (problema tipico di tendaggi/moquette) e avendo attenzione alle classi di resistenza al fuoco dei materiali;
- effettuare una specifica progettazione per gli ambienti con esigenze acustiche particolari: laboratori linguistici e musicali, officine, palestre, biblioteca, aula magna, mensa ecc.;
- formulare sempre un capitolato d'acquisto con limiti acustici per tutte le principali infrastrutture (impianti RCV, impianti frigoriferi, ascensori...) (vedi Scheda n. 6).

4.1.5. Strutture sanitarie

I locali di edilizia sanitaria (ospedali, case di cura, poliambulatori) presentano esigenze acustiche estremamente differenziate in dipendenza dell'uso (sale di degenza, day hospital, sale operatorie, laboratori, sale gessi, servizi ...).

Circa il clima acustico dell'area di insediamento del presidio, la vigente normativa prescrive che gli ospedali siano insediati in aree del territorio a bassa rumorosità ambientale, classificate in classe I, ove non si superino i 40 dB(A) di L_{Aeq} notturni ed i 50 dB(A) di L_{Aeq} diurni misurati alla facciata della struttura, in condizione di normale funzionamento dei macchinari. Ambulatori di diagnostica e terapia ove

non sia prevista la degenza ed ove la quiete non costituisca elemento essenziale della prestazione sanitaria, quali ad esempio laboratori di analisi o servizi di radiodiagnostica, ambulatori e studi medici non collegati a presidi sanitari, possono invece essere compatibili anche con classi di destinazione d'uso III (limite diurno 60 dB(A)).

Per la tutela della riservatezza della conversazione e della tranquillità per i pazienti (camere di degenza), trattandosi di prestazioni acustiche di tramezzi interni non soggetti a limiti di alcuna legislazione, si suggerisce un valore ottimale $D = 40$ dB, desunto dal D.M. 18/12/75 sugli edifici scolastici. Il valore si riferisce alla prestazione acustica in opera dell'intera parete, porte comprese.

Relativamente al rumore prodotto dagli impianti tecnologici, il D.P.C.M. 05/12/97 prende in esame e fissa valori limite per le seguenti tipologie d'impianti:

- servizi a funzionamento discontinuo, quali gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni i servizi igienici e la rubinetteria: 35 dB(A) $L_{A\max}$
- servizi a funzionamento continuo, quali gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento: 25 dB(A) L_{Aeq}

E' opinione diffusa che la legge preveda valori limite particolarmente restrittivi anche se tali limiti si riferiscono agli ambienti disturbati diversi da quelli in cui il rumore viene generato. Non è questo il caso della rumorosità prodotta dalle unità terminali degli impianti di ventilazione e climatizzazione dove la rumorosità è generata nell'ambiente stesso. Per tali situazioni si può fare riferimento ai valori limite prescritti dalla norma UNI 8199:1998 riportati nella Tabella 4.5.

Tabella 4.5: Livelli raccomandati dalla UNI 8199:1998 per il rumore dovuto ad impianti aerulici in ambienti ad uso sanitario

Destinazione d'uso	dB(A)
camere di degenza	30
sale operatorie	35
Corsie	40
Corridoi	40
aree aperte al pubblico	40
servizi	40

Per la definizione delle caratteristiche fonoassorbenti dei locali, del rumore di fondo e dei livelli di esposizione si è poi fatto riferimento in particolare alle norme UNI EN ISO 11690-1:1998 e UNI 8199:1998 utilizzando invece i dati di letteratura ed i dati sperimentali a disposizione dei componenti il Gruppo di Lavoro per i restanti valori.

In linea generale si deve cercare il raggiungimento delle seguenti condizioni:

- a) livello di esposizione: è sufficiente verificare il rispetto dei valori indicati per il rumore di fondo e per il T_{60} , in quanto il livello di esposizione è determinato dalle sole attività antropiche tipiche di quell'ambiente e come tali facilmente controllabili. Solo per i servizi di diagnostica e terapia e per i laboratori

- d'analisi si fornisce l'indicazione più specifica di un L_{EP} non superiore a 65 dB(A);
- b) livello equivalente ambientale (L_{Aeq}) non superiore a 40 dB(A) laddove è richiesto sia possibile dormire (nelle camere di degenza, guardia medica), non superiore a 50 dB(A) laddove il compito richiede livelli di concentrazione e di attenzione particolarmente elevati (sale operatorie, ambulatori e studi medici, servizi di diagnostica e terapia) e non superiore a 60 dB(A) laddove l'attività prevede il ricorso frequente ad attrezzature (laboratori di analisi);
- c) rumore di fondo (L_{Aeq}) non superiore a 35 dB(A) nei locali a massima esigenza di comfort e di qualità nella comunicazione verbale (camere di degenza, guardia medica, sale operatorie) e non superiore a 40 o 45 dB(A) negli altri locali considerati;
- d) tempo di riverberazione T_{60} non superiore ai valori indicati nella già citata Tabella 4.3. In particolare il rispetto del requisito è richiesto per le sale mensa, gli uffici con sportelli al pubblico e sale d'attesa con considerevole affluenza di pubblico, le sale riunioni, aule didattiche, auditorium e palestre.

4.2. SINTESI DEI REQUISITI E DEGLI STANDARD ACUSTICI

Col termine “requisiti acustici” si vuol far riferimento ai parametri che possono indirizzare il progettista nel dimensionamento, nella scelta dei materiali e delle soluzioni progettuali (se desumibili da fonti legislative). Questi sono inoltre i valori che gli organi di vigilanza, sull'applicazione dei diversi tipi di provvedimenti, possono richiedere che vengano rispettati dall'utilizzatore.

Con la voce “standard acustici”, invece, ci si vuole riferire alle indicazioni delle normative di buona tecnica che, sulla base di una attenta lettura, integra e talvolta interpreta i requisiti legislativi.

In **Tabella 4.6** viene riportato il quadro, necessariamente schematico, di questi requisiti e standard acustici.

I valori indicati, pur essendo quasi sempre desunti da leggi e norme per la tutela “generica” degli occupanti l'edificio, vanno ritenuti validi anche per la tutela “specificata” dei lavoratori.

Nella lettura della Tabella, per la cui comprensione integrale si rimanda al testo del Manuale di buona pratica, si consideri che per esigenze di spazio si sono utilizzate le seguenti abbreviazioni e convenzioni grafiche:

Isolamento di facciata = indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato $D_{2m,nT,w}$;

Potere fonoisolante = potere fonoisolante apparente espresso come R'_w quando desunto dal D.P.C.M. 05/12/97 e come D quando desunto dal D.M. 18/12/95;

Caratteristiche fonoassorbenti = caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente espresse come T_{60} o DL_2 ;

Livello di calpestio = indice di valutazione del livello normalizzato di rumore di calpestio $L_{n,w}$;

Rumore impianti = livello corretto del rumore degli impianti RCV come da UNI 8199;

Rumore di fondo = livello di rumorosità in assenza delle persone e delle attività tipiche del locale;

Condizioni espositive: di volta in volta, il livello personale di esposizione al rumore riferito alla giornata standard di 8 ore (**Livello di esposizione**) oppure il livello di rumorosità rappresentativo delle condizioni espositive nell'effettivo tempo di esposizione (**Livello equivalente ambientale**).

Per indicare un range di valori di un parametro si è utilizzato il simbolo “÷”, mentre con il simbolo “/” si sono accostati valori di differente contenuto tecnico, ma che debbono essere considerati congiuntamente.

Per indicare i requisiti acustici (provenienza legislativa) si è utilizzato il **grassetto**, a differenza degli standard (provenienza normativa) scritti in corsivo normale.

Tabella 4.6: requisiti e standard acustici di luoghi di lavoro non industriali

SETTORE DI ATTIVITA' Tipologia d'uso del locale	Isolamento facciata	Potere fonoisolante	Caratteristiche fonoassorbenti	Livello di calpestio	Rumore impianti	Rumore di fondo	Condizioni espositive
	$D_{m,art,w}$ (dB)	R'_w / D (dB)	T_{60} (s) / DL_2 (dB)	$L_{n,w}$ (dB)	L_{TC} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)	L_{EP} o L_{Aeq} dB(A)
TUTTI I SETTORI							
- Uffici singoli (att. progettuale)	42	50 / 40	UNI 9241-6 p.B.2 ⁽²⁾	55	35 ⁽³⁾	40	45
- Uffici singoli (att. routine)	42	50 / 40	UNI 9241-6 p.B.2 ⁽²⁾	55	40 ⁽³⁾	40	55
- Open space	42	50 / 40	UNI 9241-6 p.B.2 ⁽²⁾	55	45 ⁽³⁾	45	65
- Mense	42÷48 ⁽¹⁾	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	55	45 ⁽³⁾	45	70
PUBBLICO SPETTACOLO e ATTIVITA' COMMERCIALI							
- Alberghi	40	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	63	30-45 ⁽³⁾	45	65
- Ristoranti, bar, negozi	42	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	55	45 ⁽³⁾	45	70
- Discoteche ⁽⁵⁾ e simili ⁽⁶⁾	42 ⁽⁷⁾	50 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	55	45 ⁽³⁾	45	65-75-80 ⁽⁸⁾
ATTIVITA' SCOLASTICHE							
- Aule	48	50 / 40	D.M. 18/12/75 ⁽⁹⁾	58	30 ⁽³⁾	40	65-70-80 ⁽⁸⁾
- Palestre	48	50 / 40	D.M. 18/12/75 ⁽⁹⁾	58	45 ⁽³⁾	45	60-70
ATTIVITA' SANITARIE							
- Camere di degenza	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	30 ⁽³⁾	35	55
- Guardia medica	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	30 ⁽³⁾	35	55
- Sale operatorie	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	35 ⁽³⁾	40	55
- Serv. diagnostica e terapia ⁽¹⁰⁾	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	40 ⁽³⁾	40	60
- Ambulatori, studi medici	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	40 ⁽³⁾	40	60
- Laboratori di analisi	45	55 / 40	UNI 11690-1 p.3 ⁽⁴⁾	58	40 ⁽³⁾	45	65

Note:

- (1) = in funzione della destinazione d'uso prevalente dell'unità immobiliare;
- (2) = dato desumibile dal prospetto B.2 della norma UNI 9241-6:2001 che collega le caratteristiche acustiche fonoassorbenti richieste per gli uffici con la loro volumetria (vedi **Tabella 4.7**);
- (3) = valgono anche i limiti del D.P.C.M. 05/12/97 di 25 dB(A) di L_{Aeq} per gli impianti a funzionamento continuo e 35 dB(A) di $L_{A,max}$ per gli impianti a funzionamento discontinuo (D.P.C.M. 05/12/97), misurati negli ambienti disturbati diversi da quelli in cui il rumore viene generato;
- (4) = dato desumibile dal prospetto 3 della norma UNI 11690-1:1998 che collega le caratteristiche acustiche fonoassorbenti richieste alla volumetria degli ambienti (vedi **Tabella 4.8**);
- (5) = per la tutela dei fruitori, il D.M. 215/99 stabilisce un limite di 95 dB(A) di L_{Aeq} e un limite di 102 dB(A) di $L_{A,max}$ misurati a centro pista; questi valori sono particolarmente utili in fase di progettazione e collocazione degli impianti di diffusione sonora nonché dei relativi sistemi di controllo;
- (6) = altri pubblici esercizi che utilizzano impianti di amplificazione e diffusione sonora;
- (7) = fatte salve diverse determinazioni maturate sulla base dello studio di impatto ambientale dell'insediamento;
- (8) = vedi specifiche nel testo dei singoli paragrafi;
- (9) = dato desumibile dai diagrammi T_{60} / Hz e T_{60} / V del D.M. 18/12/75 e riportati in **Figura 4.1**;
- (10) = senza degenza; altrimenti, vedi “camere degenza”.

Tabella 4.7: Tempo massimo di riverberazione in funzione del volume del locale (UNI-EN-ISO 9241-6:2001, prospetto B.2)

Volume del locale (m ³)	Tempo massimo di riverberazione raccomandato (s)	
	Conversazione	Scopo generale
50	non specificato	non specificato
100	0,45	0,8
200	0,60	0,9
500	0,70	1,1
1.000	0,80	1,2
2.000	0,90	1,3

Tabella 4.8: Caratteristiche acustiche consigliate per ambienti di lavoro in funzione del volume del locale (UNI-EN-ISO 11690-1:1998, prospetto 3)

Volume del locale V (m ³)	Tempo di riverberazione T ₆₀ (s)	Tasso di decadimento spaziale della pressione sonora al raddoppio della distanza DL ₂ (dB)
< 200	< 0,5 – 0,8	
200 ÷ 1.000	0,8 ÷ 1,3	
> 1.000	-	> 3 - 4

5. CRITERI ACUSTICI DI ACQUISTO DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI

In Italia, purtroppo, non esiste ancora una diffusa cultura della qualità, intesa come insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto e di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite.

La pur crescente sensibilità della società verso la protezione della salute non è ancora stata in grado di incidere sulla generalità dei comportamenti degli acquirenti e dei produttori.

Il quadro non cambia anche se ci si riferisce ai soli rischi da rumore. Ad oltre un decennio dall'entrata in vigore dei primi obblighi informativi per determinate macchine da cantiere e dall'emanazione del D.Lgs.277/91 i segni del cambiamento sono ancora limitati.

5.1. REQUISITI ACUSTICI PREVISTI DALLA LEGISLAZIONE

La legislazione comunitaria ed italiana in materia di controllo del rumore prodotto negli ambienti di lavoro da macchine, attrezzature e impianti si basa su provvedimenti di carattere generale che impongono di progettare, costruire, ed utilizzare macchinari aventi il più basso livello di rumore e su provvedimenti particolari inerenti macchine specifiche.

A supporto di questa legislazione esiste poi un'ampia serie di norme UNI, EN, ISO, come elencato nel terzo livello del presente manuale.

5.1.1. Provvedimenti legislativi di carattere generale

Il primo provvedimento legislativo di carattere generale da richiamare in questa sede è ovviamente il D.Lgs.277/91. Nello specifico, sono previsti i seguenti obblighi:

- per i produttori: progettare e realizzare macchine e impianti in modo da limitarne il più possibile l'emissione sonora; documentare adeguatamente la rumorosità del macchinario se il livello equivalente sonoro derivante dal suo utilizzo in modo appropriato supera gli 85 dB(A) o i 140 dB di picco;
- per i datori di lavoro: scegliere, al momento dell'acquisto, l'attrezzatura che nelle normali condizioni di funzionamento produce il più basso livello di rumore.

E' quindi importante che i costruttori, dopo aver fatto tutto il possibile per contenere le emissioni sonore delle loro macchine (interessanti spunti su questo argomento possono essere desunti dalla UNI EN ISO 11688-1:2000 "Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore"), forniscano informazione adeguata agli obiettivi della legislazione riportando valori di rumorosità misurati in condizioni standard, con metodi ripetibili e univoci.

Ciò è possibile per un numero sempre più importante di macchine sulla base di specifiche norme tecniche. E' evidente che là dove esistano standard normativi (UNI, EN, ISO) relativi alla specifica famiglia di macchine, la dichiarazione di

conformità va redatta facendo riferimento a tali standard e ciò rende “adeguata” l’informazione acustica.

Per i tipi di macchine ed impianti per cui non sia prevista specifica normativa per la valutazione delle emissioni sonore, poiché la legge non individua le modalità tecniche a cui i costruttori devono attenersi per fornire la documentazione, né tanto meno istituisce enti certificatori ai quali rivolgersi per eseguire la prova, ciascun produttore può documentare le caratteristiche acustiche delle proprie macchine in condizioni sempre rappresentative delle normali condizioni d’uso, ma sulle quali potrebbe esservi incertezza nel confronto fra diversi produttori.

In assenza di standard specifici la determinazione della rumorosità di un tipo di macchina il costruttore dovrà comunque rispettare i criteri di buona tecnica di carattere generale (serie UNI-EN-ISO 11200) e fornire le seguenti informazioni:

1. descrizione della macchina oggetto della prova;
2. specificazione della posizione di lavoro ove i livelli di emissione sonora sono stati misurati;
3. condizioni di installazione e di montaggio della macchina;
4. condizioni operative;
5. metodologia di misura seguita;
6. valori dichiarati e condizioni di verifica.

Ciò che deve essere evidente è che le condizioni di prova (tanto quelle di installazione e montaggio della macchina, quanto quelle operative – n°giri, potenza erogata, utensili ed accessori impiegati, caratteristiche del materiale in lavorazione ...) devono essere rappresentative delle condizioni di massima rumorosità nell’uso normale e corretto della macchina.

Altra norma di riferimento a carattere generale è la Direttiva 89/392/CE e successive integrazioni, recepita in Italia con il Decreto del Presidente della Repubblica n. 459/96, meglio conosciuta con il nome di “Direttiva Macchine”. Questa direttiva riguarda ogni produttore, rappresentando lo strumento adottato da tutti gli Stati membri dell’Unione Europea per stabilire i requisiti essenziali di sicurezza (RES) che le macchine devono possedere per essere immesse nel mercato dell’Unione Europea; la conformità alla direttiva è resa evidente all’acquirente grazie all’apposizione sul macchinario dalla targhetta di marcatura CE, oltre che dal documento di dichiarazione di conformità CE che lo accompagna.

In merito al rischio dovuto al rumore il D.P.R.459/96, in modo del tutto analogo al D.Lgs.277/91, obbliga il produttore a progettare e costruire una macchina avente il minor livello possibile di emissione di rumore tenuto conto del progresso tecnico, e della possibilità di limitare il rumore, in particolare alla fonte (interessanti spunti su questo argomento possono essere desunti dalla UNI EN ISO 11688-1:2000 “Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore”).

I costruttori sono poi obbligati alla rilevazione di alcune grandezze relative all’emissione acustica del macchinario da indicare nel libretto d’uso e manutenzione associato. In tale libretto devono figurare indicazioni relative al:

- a) livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A (L_{Aeq}) nei posti di lavoro se questo supera i 70 dB(A). In caso contrario deve essere dichiarato il non superamento;

- b) in aggiunta al precedente anche il livello di potenza acustica (L_{WA}) emesso dalla macchina, quando il livello di pressione acustica continuo equivalente ponderato A nei posti di lavoro supera gli 85 dB(A). Nel caso di macchine di grandissime dimensioni è possibile sostituire l'indicazione del L_{WA} con l'indicazione dei livelli di pressione acustica continui equivalenti in appositi punti attorno alla macchina;
- c) valore massimo di pressione acustica istantanea ponderata C nelle postazioni di lavoro, se questo supera i 130 dB(C).



DICHIARAZIONE CE DI CONFORMITA'
EC DECLARATION OF CONFORMITY

Il fabbricante / *the manufacturer* :

XXXX S.r.l.
Via YYYY, n. ZZ
WWWWW - ITALY

dichiara sotto la sua responsabilità, che la macchina /
declare on his own responsibility, that the machine:

tipo (vedi allegato) / *type (see annex)* : AAAAAA
Numero / *number* : BBBB
Anno di costruzione / *building year* : CCCC

è conforme ai requisiti essenziali richiesti dalle seguenti direttive e relative integrazioni / *is in conformity with the essential health and safety requirements of the following directives (and relevant amendments):*

- macchine / <i>machinery</i>	98/37/CE;
- bassa tensione / <i>low voltage</i>	73/23/CEE;
- compatibilità elettromagnetica / <i>electromagnetic compatibility</i>	89/336/CEE;

Sulla macchina è apposta la marcatura CE / *CE marking is affixed on the machine*

Il fabbricante conserva il fascicolo tecnico negli uffici aziendali /
the manufacturer keeps the technical file on his premises

WWWWW
Data / *date*: xx/xx/xxxx

XXXX
Mario Rossi
(Il Legale Rappresentante)

La presente dichiarazione è composta da 1 pagina e da 1 allegato di due pagine ed è riproducibile solo integralmente. / *This EC declaration is consisting of one page and one annex (of two pages) and it is reproducible only in full.*

Figura 5.1: Esempio di targhetta apposta sul macchinario (sx) e dichiarazione di conformità (dx)

Si osservi che se il costruttore indica correttamente i valori di emissione sonora (dopo aver fatto tutto il possibile per contenerli), consente al datore di lavoro-utilizzatore di effettuare un confronto delle prestazioni acustiche offerte dai diversi macchinari in commercio e quindi lo mette in grado, nel concreto, di assolvere all'obbligo previsto dall'art.46 del D.Lgs.277/91 di scegliere le attrezzature a più bassa rumorosità. Inoltre, direttamente sulla base dei valori di L_{Aeq} o mediante alcuni calcoli sulla base dei valori di L_{WA} , lo pone in grado di fare previsioni sui livelli di esposizione degli operatori addetti o che operano in prossimità della macchina in questione.

La direttiva raccomanda al produttore di determinare i valori delle grandezze acustiche da riportare sulla documentazione utilizzando i metodi descritti dalle norme armonizzate; in caso contrario i dati acustici dovranno essere misurati utilizzando il codice (metodo) di misurazione più appropriato adeguato alla

macchina; naturalmente è fatto obbligo al fabbricante di indicare le condizioni di funzionamento della macchina durante la misurazione ed i metodi di misurazione seguiti. In ogni caso sono da considerarsi incomplete ed inadeguate le informazioni di rumorosità che non facciano riferimento ad un metodo di prova standardizzato. Inoltre, se necessario, nelle istruzioni per l'uso devono essere indicate le prescrizioni di montaggio volte a ridurre il rumore e le vibrazioni prodotte (ad esempio, impiego di ammortizzatori, natura e massa del basamento, ecc.).

Il D.P.R.459/96 non prevede obblighi specifici per il datore di lavoro se non quello di appurare la conformità del macchinario, verificando la marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, ovviamente andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, proponga valori inferiori di rumore emesso.

Si osservi però che tanto l'assenza palese di dispositivi di riduzione del rumore (cabine, silenziatori...) quanto l'assenza totale di informazioni sull'emissione acustica rende la macchina non conforme ed espone anche l'utilizzatore alle sanzioni previste dal D.Lgs.277/91 e dal D.Lgs.626/94.

5.1.2. Provvedimenti legislativi di carattere specifico

Ogni qualvolta il rischio rumore per una data macchina è previsto da una direttiva comunitaria specifica recepita in Italia si devono applicare le indicazioni in essa contenute oltre quelle generali previste dal D.P.R.459/96.

Queste normative specifiche, che discendono dall'esigenza primaria di contenere il disturbo da rumore nell'ambiente esterno in cui sono destinate a funzionare le macchine regolamentate, fissano limiti massimi di rumorosità e obblighi informativi delle prestazioni acustiche secondo codici di misura e condizioni di funzionamento ben definiti. Ciò permette all'acquirente di essere certo di aver acquistato una macchina che, dal punto di vista della progettazione antirumore, rispecchia il cosiddetto "stato dell'arte" e gli consente di effettuare un confronto ottimale delle prestazioni offerte dai diversi macchinari in commercio.

Fino a tutto il 2002 le macchine soggette a specifica regolamentazione erano relativamente poche (motocompressori, gru a torre, gruppi elettrogeni, martelli demolitori, macchine movimento terra, tosaerba; secondo quanto previsto dai D.M. 588 e 598 del 1987 e dai D.Lgs.135, 136 e 137 del 1992).

Il compito del datore di lavoro acquirente consisteva nell'appurare la presenza di apposite targhette ("label acustiche" che, con quella normativa potevano indicare o il L_{pA} o il L_{WA}), la marcatura CE e la dichiarazione di conformità che l'accompagna, ovviamente andando a scegliere quella macchina che, a parità di prestazioni, proponeva valori inferiori di rumore emesso.

Circa i due diversi tipi di targhette prima richiamati (indicanti o il L_{pA} o il L_{WA}) occorre rilevare che benché apparentemente molto simili, esprimono concetti e grandezze molto diversificati: il primo (L_{pA}) precisa l'esposizione dell'utilizzatore della macchina o del conduttore del mezzo in termini di L_{Aeq} mentre il secondo

(L_{WA}) indica la potenza acustica emessa dalla macchina e quindi permette di confrontare le emissioni di diverse sorgenti e i rischi di inquinamento ambientale.

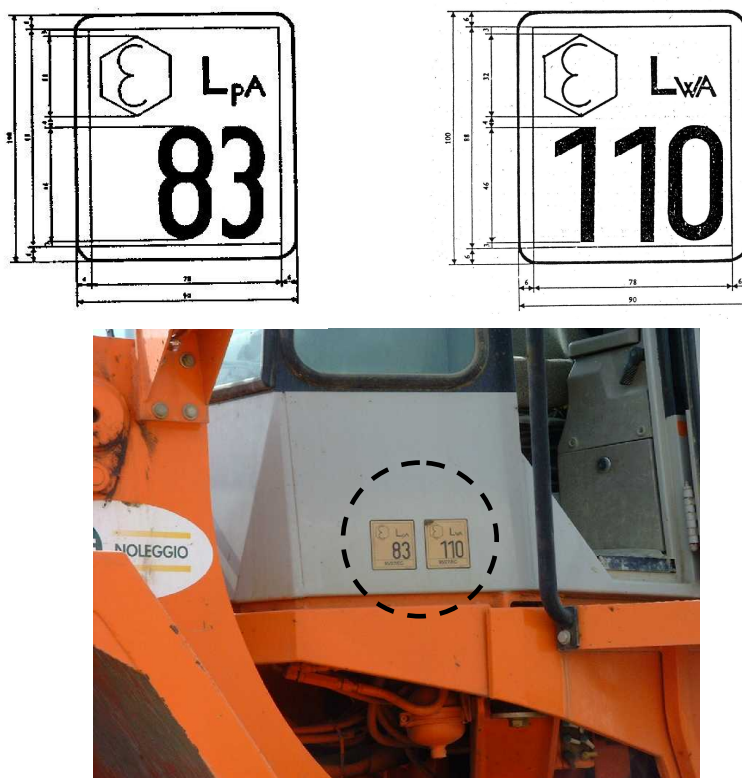


Figura 5.2: Targhette di informazione del livello di pressione sonora al posto di lavoro L_{pA} (sinistra) e di potenza sonora L_{WA} (destra) previste dalla normativa vigente fino al 31/12/02 per alcune macchine funzionanti all'aperto

Questa situazione è stata superata con l'emanazione del Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n. 262, recepimento della Direttiva Comunitaria 2000/14/CE, pubblicato sulla GU del 21 novembre 2002 ed entrato pienamente in vigore dal 1 gennaio 2003. Dopo tale data non è infatti più consentita l'immissione in commercio o la messa in servizio dei macchinari costruiti in base alla normativa in vigore precedentemente.

Il nuovo decreto, che si riferisce comunque solo a macchine da cantiere e ad altre macchine operanti all'aperto, amplia la categoria delle macchine ed attrezzature soggette a limiti di emissione acustica e prevede che sulla targhetta (*label* acustica) sia riportata l'indicazione del solo livello di potenza sonora prodotto.

Rispetto alle direttive vigenti prima della sua pubblicazione, che abroga, non è previsto nessun rilievo e marcatura della pressione sonora al posto di lavoro (la cui

dichiarazione rimane comunque obbligatoria ai sensi della Direttiva Macchine e, nel caso di superamento degli 85 dB(A), ai sensi del D.Lgs.277/91).

Di seguito viene messo a confronto il nuovo pittogramma che accompagna le macchine e attrezzature conformi alla Direttiva 2000/14/CE (sopra) con quello precedente(sotto).

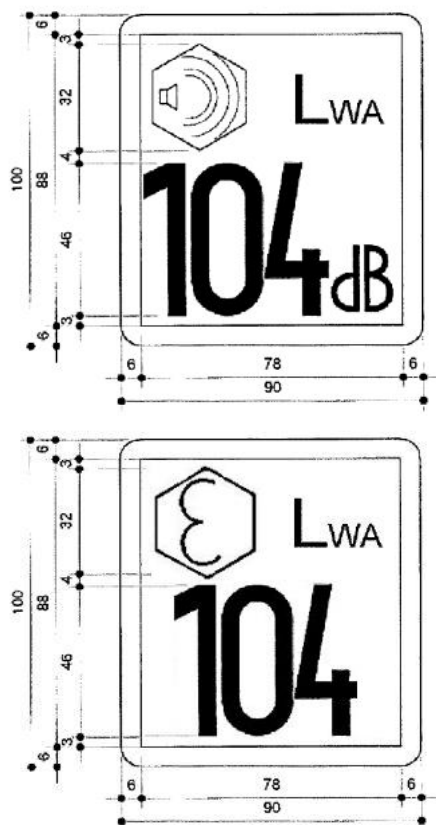


Figura 5.3: Targhette riportanti il livello di potenza sonora per una macchina o attrezzatura rispondente alla nuova normativa 2000/14/CE (sopra) e a quella precedente (sotto)

Nella nuova situazione legislativa, l'obbligo del produttore consiste quindi nell'immissione in commercio del prodotto subordinata al rispetto dei livelli massimi di rumorosità se previsti per quella tipologia di macchina o attrezzatura e all'apposizione sul macchinario della targhetta attestante il livello di potenza sonora garantito del macchinario determinato secondo una procedura di prova e di misura standard.

Gli obblighi specifici per il datore di lavoro restano quelli di accertare la presenza della targhetta riportante il livello di potenza sonora garantito (L_{WA}), nonché

ovviamente quello di acquistare tra le diverse offerte, quella che produce meno rumore.

5.2. SPECIFICHE DI ACQUISTO E DI ACCETTAZIONE

Le informazioni minime da richiedere ai potenziali fornitori in fase di acquisto del macchinario comprendono i seguenti dati sull'emissione del rumore.

- a) Livelli dichiarati di pressione sonora nei posti di lavoro, L_{pA} , e il livello massimo di picco ponderato C, $L_{pC,picco}$.
- b) Livello dichiarato di potenza sonora ponderato A, L_{WA} (si consideri che il costruttore è obbligato a fornire questo dato solo se il L_{pA} nel posto di lavoro supera gli 85 dB(A)).
- c) Riferimento alla norma (o, in sua assenza, alla procedura) utilizzata nella dichiarazione dei valori cui ai punti precedenti.

In base ad un accordo privato tra acquirente e potenziale fornitore, quest'ultimo può fornire anche dati complementari di emissione di rumore per cicli di lavorazione, montaggio e condizioni di funzionamento diversi da quelli precisati nella relativa procedura di certificazione, in relazione alle condizioni di funzionamento di particolare interesse per l'acquirente.

Il formalizzare le richieste acustiche sul capitolato d'acquisto (compresi i limiti che si vuole che il costruttore rispetti) è quasi sempre condizione necessaria per avere il controllo della rumorosità che si determinerà nel luogo di lavoro una volta installato il macchinario.

Ai fini di cosa indicare (richiedere) sul capitolato si consideri che i livelli dichiarati dal produttore risulteranno incrementati sia dal rumore di fondo che dal riverbero acustico dell'ambiente di installazione e che le effettive condizioni di utilizzo del macchinario quasi mai coincidono con quelle di certificazione.

Infatti, i valori di emissione sonora sono caratteristiche intrinseche della sorgente sonora, ma i livelli di pressione sonora che essa determina in un certo ambiente dipendono anche dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente di lavoro (riverberazione), dal contributo di altre sorgenti sonore e dalle reali condizioni di funzionamento della sorgente sonora.

I valori di emissione sonora dichiarati dal fabbricante sono importanti perché consentono di scegliere le macchine e le attrezzature sulla base di definiti requisiti acustici, stabilire un dialogo tecnico fra acquirente e fornitore, valutare la conformità del prodotto ai requisiti stabiliti nelle specifiche.

Essi inoltre consentono di determinare, attraverso calcoli e stime:

- i livelli di rumorosità conseguenti alla immissione di una determinata sorgente sonora in uno specifico ambiente di lavoro (vedere Schede 1, 2 e 24 del secondo livello);
- l'ulteriore esigenza di provvedere a bonifiche acustiche nell'ambiente di lavoro.

Come si diceva, però, occorre ricordarsi che i livelli dichiarati dal produttore sono al netto del riverbero acustico dell'ambiente di installazione e risulteranno incrementati anche dal rumore di fondo in esso già esistente.

Spesso, inoltre, le effettive condizioni di utilizzo del macchinario non coincidono con quelle di certificazione acustica. Ecco allora che è interesse dell'acquirente richiedere anche i dati sull'emissione sonora nelle effettive condizioni d'utilizzo della macchina o dell'attrezzatura.

L'utilizzatore può poi anche richiedere garanzie sui livelli sonori che si determineranno in determinate postazioni di uno specifico ambiente.

Come ovvio, entrambe queste ultime condizioni richiedono una stretta collaborazione tra acquirente e fornitore, in modo che il fornitore possa conoscere le reali condizioni d'uso della macchina e/o le caratteristiche acustiche dell'ambiente cui tale sorgente è destinata.

La verifica dei valori di rumore così richiesti andrà effettuata secondo una procedura di prova concordata fra acquirente e fornitore.

La scelta della macchina meno rumorosa va effettuata per confronto, nelle stesse condizioni operative, in primo luogo (normalmente) sulla base del L_{wA} e se la potenza acustica non è indicata sulla base dei L_{pA} . E' comunque sempre importante confrontare gli L_{pA} in posizione operatore in quanto si può verificare che macchine a maggior potenza acustica adottino soluzioni migliori a tutela del posto di lavoro che vanno premiate.

Prima di concludere questo paragrafo si ritiene importante evidenziare i comportamenti di taluni produttori che sulla base di una lettura parziale della normativa finiscono col dichiarare unicamente i livelli di rumorosità a vuoto di macchine che in condizioni operative sono fortemente rumorose. Nel merito occorre sottolineare che sia il D.Lgs.277/91 che la "Direttiva macchine" prevedono che le prove di rumorosità debbono essere ragionevolmente rappresentative delle condizioni di reale funzionamento.

Quindi, l'indicazione operativa è se qualora il produttore proponesse livelli di rumore della macchina funzionante a vuoto occorre richiederli i dati del rumore nella condizione di lavoro in cui verrà utilizzata la macchina e, se il produttore non fornisce i dati richiesti, si consiglia di rivolgersi ad altri.

Un secondo tipo di atteggiamento da evidenziare è quello dei costruttori/venditori che propongono macchine rumorose che, nelle stesse condizioni d'uso e per le stesse applicazioni, sono in versione silenziata ed in versione non silenziata (ovviamente meno costosa). E' evidente che un tale costruttore o venditore commette un reato e, se porta a conclusione la vendita della macchina non silenziata, induce l'acquirente a commettere un secondo reato.

E' per combattere queste situazioni che risulta ovviamente determinante anche la presenza, in termini di vigilanza, degli organismi preposti (in primo luogo del Ministero delle Attività produttive).

Un esempio di scheda tecnica relativa all'emissione di rumore che può essere utilizzata per richiedere al produttore/importatore del macchinario i dati relativi alla rumorosità da questo prodotta è riportata nella Scheda 6 del secondo livello.

Una volta fissate le richieste acustiche sul capitolato d'acquisto occorre verificarne il rispetto in sede di accettazione della macchina.
Nel Capitolato d'acquisto andrà sempre precisata la possibilità della restituzione della macchina che non rispettasse i valori previsti e le relative penali.

5.3. INDICAZIONI PER LA VIGILANZA E CONTROLLO DELLE ASL

Il controllo sull'applicazione delle normative di prodotto, quali il D.P.R.459/96, è compito in primo luogo del Ministero delle Attività produttive in collaborazione con il Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali; le Aziende USL, ed in particolare i Servizi di Prevenzione e Protezione negli Ambienti di Lavoro (SPSAL), possono però segnalare a tali Ministeri le macchine e le attrezzature di lavoro non conformi ai requisiti essenziali di igiene e sicurezza (RES) riscontrate durante la loro normale attività di vigilanza.

Ad oggi il controllo tecnico sulla conformità di macchine e attrezzature di lavoro immesse sul mercato col sistema della marcatura CE (D.P.R.459/96, D.Lgs.475/92...), su delega del Ministero dell'Industria, è compito affidato ai tecnici ISPESL (organo del Ministero della Sanità che in generale è centro nazionale di informazione, documentazione, ricerca e sperimentazione nonché organo tecnico-scientifico del Servizio Sanitario Nazionale e dei Servizi Sanitari Regionali) ed ai SIL (Servizio Ispezioni del Lavoro) delle Direzioni provinciali del Lavoro (C.M. 1067/99 e lettera circolare 2182 del 20/12/00).

Nel caso in cui questi controlli verifichino la non conformità di una macchina o di una attrezzatura ai requisiti di sicurezza, fatta salva la facoltà di adottare i provvedimenti ritenuti necessari nel caso di violazione di altre specifiche norme penali o amministrative, il fatto viene segnalato ai Ministeri dell'Industria e del Lavoro.

Solo il Ministero dell'Industria ha tuttavia il potere di disporre il ritiro temporaneo dal mercato o il divieto di utilizzazione del macchinario non conforme su tutto il territorio nazionale.

Come detto, anche i tecnici ASL, venuti a conoscenza della mancata applicazione delle "direttive di prodotto", oltre a condurre la loro normale azione di vigilanza sul rispetto, in particolare, dell'art.46 D.Lgs.277/91 possono segnalare ai Ministeri competenti.

Le segnalazioni possono essere effettuate sia per carenze palesi che per carenze occulte.

L'assenza o la carenza progettuale e realizzativa di dispositivi adeguati per la riduzione dell'emissione di rumore (es.: cabine o cappottature fonoisolanti, silenziatori) rientrano in queste casistiche. Inoltre, poiché ogni macchina o attrezzatura deve essere accompagnata da un'opportuna documentazione (dichiarazione di conformità, manuale di istruzioni per l'uso, fascicolo tecnico), anche la carenza documentale (assenza di informazioni acustiche ovvero informazioni acustiche valutate su situazioni palesemente lontane dalle condizioni di funzionamento della macchina) può far scattare la procedura di segnalazione di non conformità.

La procedura di segnalazione prevede l'invio, ai sensi dell'art.7 comma 3 del D.P.R.459/96, di una comunicazione, di cui si allega il modello (Modello 1), ed una relazione di accertamento di non conformità (Modello 2) al Ministero delle Attività Produttive, al Ministero del Lavoro ed all'Assessorato alla Sanità della propria Regione.

Modello 1- Modello di comunicazione

....., li

**Al Ministero delle Attività Produttive
DGSPC - Ispettorato Tecnico
Ufficio F1
Via Molise,2
00187 ROMA**

**Al Ministero del Lavoro e delle
Politiche Sociali
D.G. Affari Generali - Div. VII
Coordinamento Ispettorati del Lavoro
Via Pastrengo, 22
00185 ROMA**

e, per conoscenza

**All'Assessorato Sanità
Servizio Prevenzione
Via
CAP..... Città**

prot. n°
Raccomandata A.R.

**OGGETTO: Non conformità ai requisiti essenziali di sicurezza della
macchina /
del componente di sicurezza .
Comunicazione effettuata ai sensi dell'art. 7 comma 3 del DPR
459/96
(regolamento di attuazione della DIRETTIVA MACCHINE)**

In allegato alla presente si trasmette la relazione di accertamento di non conformità ai requisiti essenziali di sicurezza, di cui all'allegato I del DPR 459/96 (Regolamento di attuazione della Direttiva Macchine) redatta da operatori dello scrivente Servizio.

Questa comunicazione viene inviata ai sensi dell'art. 7 comma 3 del decreto citato affinché codesti Ministeri possano iniziare le procedure di accertamento previste dalla normativa.

Si resta in attesa di conoscere gli esiti degli accertamenti espletati e degli eventuali provvedimenti adottati.

Con l'occasione si porgono distinti saluti.

Il Responsabile del Servizio

(.....)

Modello 2: Modello di relazione di accertamento di non conformità ai RES

**RELAZIONE DI ACCERTAMENTO DI NON CONFORMITÀ AI REQUISITI
ESSENZIALI DI SICUREZZA**

AI SENSI ART. 7 comma 3 DPR 459/96

DATI RELATIVI ALLA MACCHINA

MACCHINA (o “componente di sicurezza”):

MODELLO: _____

MATRICOLA O NUMERO DI SERIE

ANNO DI
COSTRUZIONE: _____

COMPRESA NELL’ALLEGATO IV: **NO** ☐ **SÌ** ☐

Se SÌ, la dichiarazione di conformità riporta i dati dell’Organismo notificato?

NO ☐ **SÌ** ☐

se SÌ indicare “l’Organismo di certificazione notificato” :

ESEMPLARE UNICO **NO** ☐ **SÌ** ☐

DATI RELATIVI AL COSTRUTTORE

NOMINATIVO E RAGIONE
SOCIALE _____

INDIRIZZO: via _____ n°
_____ città _____ (____)

TELEFONO: _____

<u>DATI RELATIVI AL RAPPRESENTANTE/IMPORTATORE/MANDATARIO</u>
NOMINATIVO E RAGIONE SOCIALE _____
INDIRIZZO: via _____ n° _____ città _____ (____)
TELEFONO: _____

<u>DATI IDENTIFICATIVI A DOVE È STATA RINVENUTA</u>
NOMINATIVO E RAGIONE SOCIALE _____
INDIRIZZO: via _____ n° _____ città _____ (____)
TELEFONO: _____
DATA ACCERTAMENTO _____

<u>DATI IDENTIFICATIVI DI CHI HA FATTO L'ACCERTAMENTO</u>
ASL/ARPA _____
SERVIZIO _____
INDIRIZZO: via _____ n° _____ città _____ (____)
TELEFONO: _____
FAX _____
OPERATORE DA CONTATTARE PER EVENTUALI CHIARIMENTI: _____

ACCERTAMENTO COLLEGATO AD UN INFORTUNIO? NO <input type="checkbox"/> SÌ <input type="checkbox"/>	
se SÌ, mortale:? NO <input type="checkbox"/> SÌ <input type="checkbox"/>	
Informazioni sull'incidento:	
Sede della lesione:	
Agente:	
Natura della lesione:	
Gravità:	- giorni di inabilità temporanea assoluta 1° certificato medico <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	- giorni totali di inabilità temporanea assoluta <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

DESCRIZIONE DELLA MACCHINA

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLE SITUAZIONI DI PERICOLO

SEGNALAZIONE DI NON CONFORMITÀ

- La macchina è stata introdotta sul mercato in violazione alle procedure di immissione di cui al DPR 459/96 per i seguenti motivi:

- La macchina non è conforme ai seguenti requisiti essenziali di sicurezza:

- allegato ____ punto _____ in quanto

- allegato ____ punto _____ in quanto

PRESCRIZIONI/NOTIZIA DI REATO ADOTTATI NEI CONFRONTI DELL'UTILIZZATORE AI SENSI DEL D.Lgs. 758/94:

Testo prescrizione e norme di legge violate:

AI SENSI DELL'ART. 6 D.Lgs. 626/94 SONO STATI ADOTTATI PROVVEDIMENTI CONTRAVVENZIONALI NEI CONFRONTI DI ...

Costruttore e/o venditore: NO ☐ SÌ ☐

Comunicazione ad ASL/ARPA competente? (zona del costruttore):

NO ☐ SÌ ☐

Intervento diretto presso il costruttore?

(in zona di competenza) NO ☐ SÌ ☐

ALLEGATI:

- 1) Dichiarazione di conformità
- 2) Istruzioni per l'uso
- 3) Fotografie

6. BONIFICA ACUSTICA DI MACCHINE, ATTREZZATURE E IMPIANTI

La bonifica acustica di macchine, attrezzature, impianti, lavorazioni è spesso decisa in base a criteri molto approssimativi, che derivano da una insufficiente conoscenza delle possibilità disponibili e in base a luoghi comuni, esperienze parziali, convinzioni debolmente sostanziate.

Le pagine che seguono hanno quindi lo scopo di fornire un primo quadro delle tecniche utilizzabili in tema di bonifica acustica di macchine, attrezzature e impianti, sulla base di una metodologia che, come previsto dalla tecnica e richiesto dalla legge, deve privilegiare gli interventi sulle sorgenti sonore, valutando poi gli interventi possibili per ridurre trasmissione e propagazione del rumore ed infine considerare gli interventi a protezione dei lavoratori esposti.

Da questo punto di vista lo schema di generazione, trasmissione e ricezione di un suono (Figura 6.1), oltre a richiamare quelle priorità di cui si diceva, costituisce un utile riferimento, sia per rappresentare in modo semplificato il fenomeno fisico, sia per aiutare a stabilire i criteri attraverso cui si può ridurre, con interventi tecnici, il livello sonoro prodotto da attrezzature e immesso nell'ambiente di lavoro.

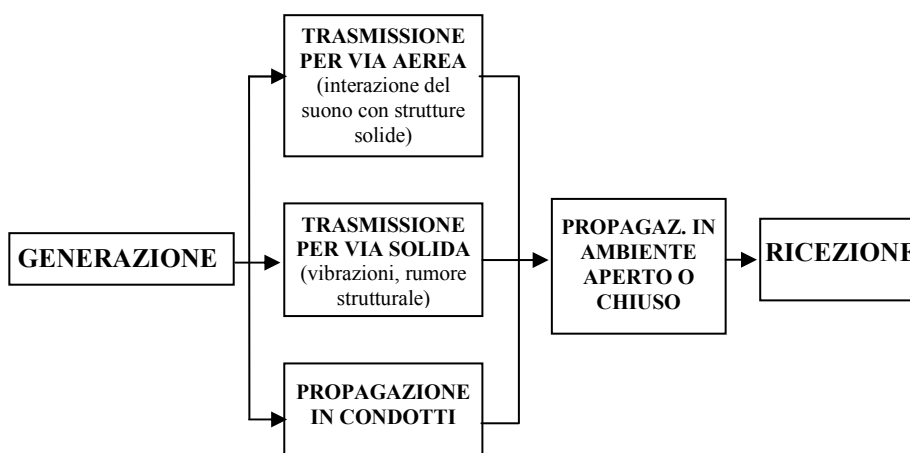


Figura 6.1: Schema generale della emissione ed immissione acustica

L'analisi che segue utilizzerà tale schema di riferimento, mentre non verranno esaminati gli interventi di natura organizzativa e procedurale quali l'adottare modalità di lavoro che evitino di generare rumore inutile (spegnere le macchine che non vengono utilizzate, istruire i lavoratori ad evitare rumori inutili, ...) in quanto al di fuori dello scopo del presente Manuale.

Nel terzo livello il lettore potrà inoltre confrontarsi con soluzioni di bonifica acustica realizzate sul campo.

A chi volesse invece avvicinarsi al tema della progettazione acustica, tema che non verrà qui di seguito affrontato, oltre alla necessaria letteratura ingegneristica consigliamo (almeno come punto di partenza) la lettura della UNI EN ISO 11688-

1:2000 “Suggerimenti pratici per la progettazione di macchine ed apparecchiature a bassa emissione di rumore”.

Come ultimo elemento si richiama l'importanza che ogni intervento di bonifica acustica sia collaudato in opera per verificare il rispetto degli obiettivi fissati sul capitolato d'acquisto. Le Schede della serie n. 25 del secondo livello sono tutte dedicate alle modalità operative con cui datore di lavoro e fornitore dovrebbero confrontarsi.

6.1. CONTROLLO DEL RUMORE ALLA SORGENTE

Da un punto di vista tecnico generale, i principali metodi per il controllo del rumore alla sorgente sono:

- progettare le macchine, gli impianti e le attrezzature, considerando anche gli aspetti acustici e applicando idonei principi;
- sostituire o modificare parti / componenti delle macchine e attrezzature rumorose;
- utilizzare tecniche o attrezzature con differenti principi tecnologici;
- sostituire macchine e attrezzature rumorose con altre più silenziose;
- curare la manutenzione negli aspetti che determinano un incremento dell'emissione sonora (lubrificazione, disallineamenti, sbilanciamenti, parti che si usurano, ...);

Come si può osservare alcune di queste azioni sono (almeno elettivamente) di pertinenza dei progettisti e dei costruttori, altre competono agli utilizzatori.

In merito alle bonifiche realizzate da questi ultimi occorre ricordare che l'intervento su macchine marcate CE va concordato con il costruttore per evitare, appunto, la decadenza del valore della marcatura.

Tra i metodi prima richiamati si evidenzia che, quando possibile, una tecnologia alternativa a più basso livello di rumore è normalmente la risposta più economica e di miglior risultato acustico. L'analisi di questa modalità di soluzione del problema è purtroppo spesso ignorata.

In questi casi il ruolo del datore di lavoro è fondamentale in quanto solo nella sua visione d'insieme può essere ricercata la compatibilità della nuova tecnica/tecnologia con le modalità produttive aziendali.

Per alcuni esempi su tecnologie a differente emissione sonora ci si può riferire alla Tabella 6.1.

Analogamente può risultare importante, e spesso più agevole, modificare macchine, attrezzature, componenti al fine di ridurre l'emissione sonora (vedere Tabella 6.2).

Queste tabelle, in parte derivate dalla norma UNI EN ISO 11690-2, debbono essere lette tenendo presente che:

- le indicazioni riportate costituiscono degli esempi e non esauriscono assolutamente le ampie possibilità che lo stato dell'arte mette a disposizione e in continuazione aggiorna;

- le soluzioni indicate debbono essere valutate caso per caso, al fine di stabilirne la fattibilità, poiché i processi, i macchinari e le attrezzature più silenziosi possono risultare, talvolta incompatibili con le esigenze produttive (o di altra natura) presenti in una determinata realtà, in altre situazioni inopportuni, per la presenza di altri vincoli ugualmente (o più) importanti;
- in questa valutazione è essenziale considerare anche l'entità del beneficio acustico che deriva da tale scelta o modificazione, poiché in taluni casi l'adozione di un sistema più silenzioso comporta un risultato acustico inadeguato rispetto ai costi e ai problemi che introduce.

Tabella 6.1: Esempi di processi alternativi a minor emissione sonora

Processi più rumorosi	Processi meno rumorosi
taglio con punzoni metallici	taglio laser
ventilatori assiali	ventilatori centrifughi
rivettatura a percussione	rivettatura a compressione
comandi ad aria compressa o con motori a combustione interna	comandi elettrici
taglio ad impatto	taglio distribuito nel tempo
pulizia ad aria compressa	pulizia con sistema aspirante
asciugatura a flusso d'aria	asciugatura a radiazione termica
ossitaglio al plasma	ossitaglio in acqua
saldatura TIG/TAG tradizionale	saldatura TIG/TAG ad arco sommerso
fissaggio con rivetti	fissaggio a pressione
stampaggio con pressa meccanica	stampaggio con pressa idraulica
indurimento a fiamma	indurimento laser
raffreddamento ad aria compressa	raffreddamento a liquido

Per contenere all'origine l'emissione sonora, occorre inoltre avere attenzione in particolare a:

- la scelta di soluzioni tecniche che evitino fenomeni acusticamente critici (turbolenze, cavitazione, risonanze, ecc....);
- il controllo dei fenomeni di usura;
- il controllo dell'equilibratura degli organi rotanti;
- l'utilizzazione di idonei materiali in relazione alle specifiche esigenze (di isolamento, di smorzamento, di assorbimento,).

Tabella 6.2: Esempi di macchine, componenti, attrezzature a minor emissione sonora

Sistemi più rumorosi	Sistemi meno rumorosi
ingranaggi a denti diritti	ingranaggi a denti elicoidali
ingranaggi in materiale metallico	ingranaggi in materiale plastico
trasmissione ad ingranaggi	trasmissione a frizione o a cinghie dentate
utensili per pialle a coltelli diritti	utensili a denti inclinati o a profilo elicoidale
seghe convenzionali	lame con asole radiali nella zona periferica
seghe convenzionali	lame costruite con materiali aventi caratteristiche smorzanti
caduta libera di pezzi	caduta guidata controllandone l'altezza e/o lo smorzamento delle zone di contatto
scarichi liberi di gas	scarichi attraverso sistemi che riducano drasticamente la velocità
getti d'aria per pulizia, movimentazione pezzi, raffreddamento	ottimizzazione della velocità del getto e adozione di sistemi per ridurre la turbolenza
cuscinetti a rulli	cuscinetti a strisciamento
ventilatori assiali	ventilatori centrifughi
sistemi di trasporto con urti relativi fra i pezzi movimentati	sistemi di trasporto che mantengono distanziati i pezzi movimentati

6.1.1. Elementi metodologici per la bonifica

Anche se la riduzione alla fonte del rumore generato da processi di lavorazione, macchine, attrezzature e impianti attiene primariamente ad aspetti progettuali, e quindi è associata alla realizzazione di nuove macchine, essa tuttavia costituisce un importante criterio di bonifica acustica di sorgenti sonore esistenti.

Per la migliore comprensione di questo paragrafo introduciamo le seguenti definizioni.

- *Sorgenti primarie di rumore:* elementi meccanici o fluidi che generano rumore in relazione a specifici fenomeni fisici (es.: corpi che si urtano o vibrano, gas o liquidi aventi un flusso irregolare, ...).
- *Sorgenti secondarie di rumore:* elementi meccanici che in sé non costituiscono sorgenti di rumore ma che possono diventarlo a causa della trasmissione di onde sonore o vibratorie attraverso l'aria, un liquido o una struttura meccanica (es.: tubazioni, carter, ...).

Affinché una bonifica acustica da realizzarsi su di una attrezzatura abbia successo è di fondamentale importanza che il tecnico chiamato a progettare ed eseguire l'intervento si attenga alle seguenti regole generali.

- Discriminare le sorgenti primarie dalle sorgenti secondarie e identificare i percorsi di trasmissione del rumore dalle une alle altre;
- identificare, attraverso misure, calcoli o sperimentazioni, il contributo delle varie sorgenti;
- dare priorità nella bonifica, alle sorgenti che contribuiscono maggiormente alla rumorosità nei luoghi di lavoro circostanti;
- ove una sorgente primaria, attraverso delle vie di trasmissione, determini l'emissione sonora di componenti meccanici passivi, le priorità di intervento vanno identificate secondo lo schema indicato in Figura 6.2:



Figura 6.2: Priorità di intervento nella bonifica acustica

6.1.2. Bonifica delle sorgenti sonore primarie

Data la complessità della materia, di seguito si riportano le tipologie di sorgenti (con relativa esemplificazione) e il relativo rimando alle Schede di 2° Livello per l'indicazione sulle modalità di bonifica.

Sorgenti di origine meccanica:

- impulsi (Scheda 8) : possono essere associati a lavorazioni specifiche (presse, magli, ...), a movimentazioni di materiali, a cadute di pezzi;
- microimpulsi (Scheda 9): sono associati a rotazione di ingranaggi, rotolamento di cuscinetti, interazione di utensili con i pezzi in lavorazione, sistemi di trasporto;
- sbilanciamenti e squilibri di masse rotanti o traslanti (Scheda 10);
- attriti (Scheda 10);
- fenomeni associati a campi magnetici, presenti in macchine elettriche rotanti (disuniformità del campo magnetico) o fisse (magnetostirazione).

Sorgenti dovute a liquidi e gas in movimento:

- turbolenza (Scheda 11): si manifesta come interazione di un flusso liquido o gassoso con un ostacolo (es.: griglia al termine di un condotto), come rapida variazione delle condizioni di efflusso (es.: curva a gomito in un condotto, scarico di un getto di aria compressa), come interazione di un flusso con cavità o fessure (es.: scanalature degli utensili nelle pialle per la lavorazione del legno);
- pulsazioni (Scheda 11): in macchine che contengono organi rotanti si generano spesso variazioni periodiche del volume e della pressione del fluido (gassoso o

- liquido) in cui esse si trovano, cui è associata l'emissione di rumore avente più o meno accentuate componenti tonali;
- impulsi (Scheda 11): si manifestano generalmente quando un fluido in pressione viene immesso repentinamente in un ambiente avente una pressione molto minore (es.: apertura di valvole), e si possono determinare con cadenza pari o multipla al numero di giri in talune macchine (es.: pompe ad alta pressione);
 - cavitazione (Scheda 11): si manifesta in un liquido quando, a causa della caduta della pressione (perlopiù in valvole e pompe), questa scende al di sotto della tensione di vapore, formando delle bolle, che alla successiva ricompressione implodono.

6.1.3. Bonifica delle sorgenti sonore secondarie

Le sorgenti secondarie, dette anche sorgenti “passive” sono elementi meccanici, componenti di impianti o macchine, messi in grado di dissipare l'energia ricevuta da una sorgente primaria (sorgente attiva).

L'intervento di bonifica sulla sorgente secondaria dunque deve essere previsto solo dopo avere ridotto per quanto possibile, la trasmissione delle onde meccaniche, agendo sulle sorgenti primarie e sulle vie di trasmissione dell'energia.

Il problema è sviluppato in maniera approfondita al secondo livello del Manuale, in particolare nelle Schede 12, 13, 14, 15.

Di particolare interesse nell'ambiente industriale sono le sorgenti secondarie costituite da lamiere metalliche, che possono essere presenti come parti della chiusura di una macchina, come schermi con funzioni antinfortunistiche, come pannelli divisorii tra banchi di lavorazione ecc..

Fra gli aspetti concernenti le sorgenti secondarie richiamiamo i seguenti.

a) Lo smorzamento.

Quando un pannello viene fatto vibrare, il livello di vibrazione di flessione (e quindi il relativo rumore irradiato) diminuiscono nel tempo. La velocità con cui avviene questa diminuzione dipende dalla capacità smorzante del materiale.

I metalli più comuni hanno una bassa capacità smorzante; se si applica su una lamiera metallica un secondo materiale con caratteristiche smorzanti, è possibile ottenere una attenuazione della vibrazione, con conseguente riduzione del livello sonoro irradiato e della sua permanenza nell'ambiente.

L'efficienza di smorzamento è maggiore realizzando un *sandwich* tra materiali rigidi all'esterno e viscosi all'interno.

Fra i materiali smorzanti di maggior impiego troviamo i cosiddetti “antirombo” e i pannelli magnetici che realizzano una sorta di “struttura *sandwich*” sulla lamiera in lavorazione; non appena ultimate le lavorazioni, la rimozione dei pannelli magnetici ripristina la situazione della lamiera iniziale.

b) La risonanza strutturale.

Un'altra modalità di contenimento dell'emissione sonora si basa sulle risonanze proprie delle strutture.

Ad esempio le superfici vibranti estese hanno la caratteristica di vibrare a bassa frequenza; in questi casi è spesso utile cercare di trasferire le risonanze verso le alte frequenze (una tipica modalità è costituita dall'adozione di nervature), dove è più facile ottenerne lo smorzamento.

Anche le condutture possono essere vie di trasmissione del rumore e far sì che le superfici su cui sono fissate diventino sorgenti secondarie.

Un caso tipico è quello del rumore prodotto o propagato da un fluido in una conduttura; se la conduttura è fissata rigidamente ad una struttura, può eccitare di un'area di dimensioni importanti e quindi generare una elevata potenza sonora. Ciò può essere limitato ad esempio mediante con sistemi di sospensione flessibili.

6.1.4. Esame di un caso

Nella centralina idraulica rappresentata in Figura 6.3 si identificano due sorgenti primarie: la pompa e il motore elettrico.

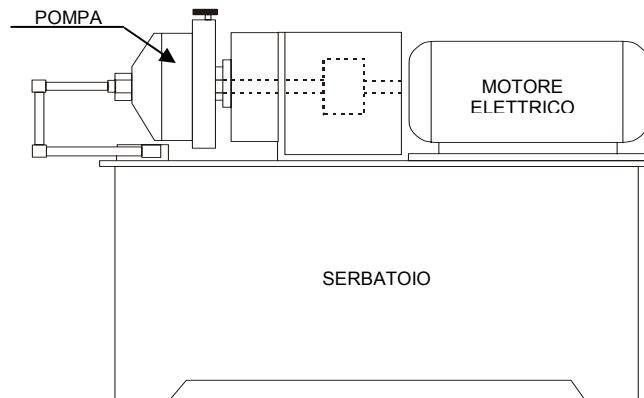


Figura 6.3: Sorgenti di rumore di una centralina idraulica

Il rumore e le vibrazioni generati da tali sorgenti si trasmettono particolarmente alle tubazioni e al serbatoio, secondo lo schema di Figura 6.4.

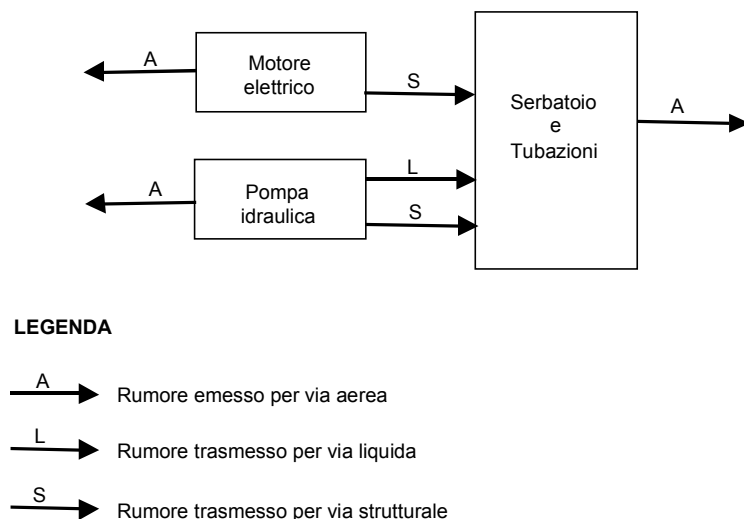


Figura 6.4: Vie di trasmissione del rumore

Nella Tabella 6.3 sono indicati i risultati delle misure del livello di potenza sonora emesso L_W all'avanzare degli interventi di bonifica acustica

Considerazioni conclusive:

- il serbatoio (pur essendo un componente passivo: "sorgente secondaria") è la principale sorgente sonora a causa della trasmissione strutturale delle vibrazioni indotte dalla pompa e dal motore;
- il motore, molto più che il relativo ventilatore, costituisce la sorgente primaria di rumore più significativa.

Tabella 6.3: Risultato degli interventi effettuati sulla centralina

Intervento effettuato	L_{WA} dB(A)	Osservazioni
Macchina nella configurazione originaria	90	
Motore e pompa vengono disaccoppiati meccanicamente rispetto al serbatoio	86	E' molto consistente la trasmissione per via strutturale fra le sorgenti primarie e il serbatoio
Il serbatoio viene allontanato dalle sorgenti primarie	86	Il serbatoio, eliminata la trasmissione per via solida, non è più una sorgente rilevante
Viene eliminato il ventilatore di raffreddamento del motore, sostituendolo con un sistema di raffreddamento ad acqua	85	Il contributo del ventilatore, per quanto non trascurabile, è di entità inferiore rispetto all'insieme delle altre sorgenti rimanenti
Viene incapsulato il motore	80	L'emissione sonora per via aerea del motore è molto importante

6.2. INTERVENTI SULLA TRASMISSIONE E SULLA PROPAGAZIONE DEL RUMORE

Attenuare l'emissione sonora delle sorgenti è indubbiamente il tipo d'intervento più idoneo ed appropriato per ridurre il rischio da rumore negli ambienti di lavoro, ma non sempre il ricorso a tale soluzione è possibile e praticabile, e comunque di norma è operazione gestita a livello progettuale dai costruttori.

Gli interventi sulla trasmissione e propagazione del rumore sono invece una soluzione più facilmente perseguibile da parte degli utilizzatori.

Uno dei modi più utilizzati per classificare tali tipi di bonifiche è quello basato sul mezzo di propagazione dell'energia acustica.

Salvo alcune situazioni più semplici, il rumore che si genera a seguito di un fenomeno fisico, si irradia nell'ambiente seguendo un percorso più o meno articolato, ad esempio:

- a) la turbolenza generata dallo sbocco di un getto di aria compressa genera un rumore che si propaga direttamente nell'ambiente in cui esso fa sentire i suoi effetti;
- b) viceversa la turbolenza di un flusso d'aria intercettato da una valvola:
 - si irradia attraverso la parete della tubazione (trasmissione per via aerea);
 - determina una vibrazione della tubazione che si trasmette lungo la stessa, talvolta con debole attenuazione, ed irradiando quindi energia sonora anche a grande distanza (trasmissione per via solida);
 - si propaga all'interno del canale determinando un'emissione sonora allo sbocco (o agli sbocchi) della tubazione.

Le possibili tecniche di controllo sulla trasmissione del rumore sono schematizzate nella Figura 6.5.



Figura 6.5: Tecniche di controllo della trasmissione sonora

Un secondo criterio per classificare questi interventi di bonifica è invece basato sulla modalità di propagazione dell'energia acustica che può essere diretta o per riflessione.

Negli interventi sulla propagazione diretta si opera interponendo tra la sorgente sonora disturbante e la postazione di lavoro un ostacolo fisico in grado di deviare, attenuare o modificare, la propagazione del rumore per via aerea.

Per comodità di esposizione, gli interventi sulla propagazione per via diretta possono essere schematicamente suddivisi in:

- Cabine acustiche (Coperture integrali);
- Cappottature acustiche (Coperture parziali);
- Schermi o barriere;
- Silenziatori;
- Interventi sulla propagazione per via solida;
- Interventi di controllo attivo;
- Cabine di riposo acustico (cabine operatore).

Viceversa gli interventi sulla propagazione per riflessione consistono essenzialmente nei trattamenti fonoassorbenti ambientali.

Nel caso di macchine e/o impianti già esistenti, gli interventi sulla propagazione per via aerea, tradizionalmente, sono i più conosciuti ed adottati nel campo della bonifica acustica. Le cause di questa preferenza sono svariate, ma le principali sono:

- la solitamente elevata efficacia acustica;
- la maturità tecnologica dei materiali e dei dispositivi utilizzabili;
- la contenuta perturbazione dell'attività produttiva in questione.

6.2.1. Cabine acustiche (Coperture integrali)

Tra tutti i tipi d'intervento diretti a ridurre la propagazione per via diretta del rumore, il ricorso alle coperture integrali è quello che, solitamente, consente di ottenere i risultati migliori in termini di riduzione del rischio di danno sui posti di lavoro.

Una copertura integrale è infatti una vera e propria cabina fonoisolante che incapsula interamente la sorgente di rumore, facendo sì che solo una quantità limitata di energia sonora riesca a superarne le pareti e il soffitto e a diffondersi nell'ambiente circostante. Perché ciò avvenga occorre però rispettare almeno tre requisiti fondamentali:

- le pareti e il soffitto della cabina devono assicurare un adeguato potere fonoisolante, anche tenendo conto degli inevitabili punti deboli, ovvero: finestrini d'osservazione, portelli d'accesso dei pezzi in lavorazione, condutture per il ricambio d'aria, ecc.;
- tutte le superfici interne della cabina devono avere un elevato coefficiente d'assorbimento acustico;
- tra la cabina e la macchina deve essere evitato ogni collegamento rigido che, consentendo la trasmissione delle eventuali vibrazioni prodotte dalla macchina, potrebbe trasformare le pareti della cabina in superfici radianti.

Per realizzare una cabina acustica non esiste ovviamente una soluzione unica. Caso per caso, a seconda del livello sonoro e della distribuzione spettrale del rumore generato dalla sorgente in questione e del livello sonoro che si vuole ottenere sul posto di lavoro interessato, occorrerà progettare la struttura più appropriata sia sotto il profilo del potere fonoisolante che delle caratteristiche di funzionalità più complessiva (accessi, controlli, ...). Comunque, a titolo d'esempio, una tipica struttura di parete è costituita da tre componenti fondamentali:

- uno strato esterno, rigido e pesante, trattato internamente con un materiale antirombo;
- uno strato intermedio di materiale poroso o fibroso fonoassorbente;
- uno strato interno, rigido ma forato, solitamente più leggero di quello esterno.

Detto tipo di struttura assolve al duplice compito di assicurare un adeguato potere fonoisolante verso l'esterno e un buon assorbimento acustico verso l'interno, quest'ultimo necessario per evitare che dentro la cabina si creino negativi fenomeni di risonanza.

Per ridurre al minimo il passaggio delle vibrazioni dalla sorgente alla cabina, gli accorgimenti più adottati sono:

- ancoraggio della macchina a pavimento su supporti elastici;
- nel caso di tubi e condotti rigidi che attraversano le pareti della cabina acustica:
 - a) adozione, quando possibile, di raccordi flessibili;

- b) rivestimento del tratto di tubo o di condotto passante attraverso la parete con materiale antivibrante.

A causa della loro configurazione, le coperture integrali tendono ad accumulare al loro interno calore e talvolta polveri o gas più o meno pericolosi, per cui gran parte di esse devono essere dotate di sistemi di aspirazione e/o di raffreddamento. Anche questi impianti vanno adeguatamente progettati sotto il profilo acustico affinché non si trasformino o in un punto debole nell'isolamento della cabina, o in una sorgente aggiuntiva di rumore ambientale.

Se ben realizzate le coperture integrali sono in grado di assicurare livelli di attenuazione acustica solitamente compresi tra 10 e 30 dB(A) (vedi Figura 6.6), in grado quindi di risolvere una parte considerevole dei problemi di bonifica acustica esistenti in campo industriale.

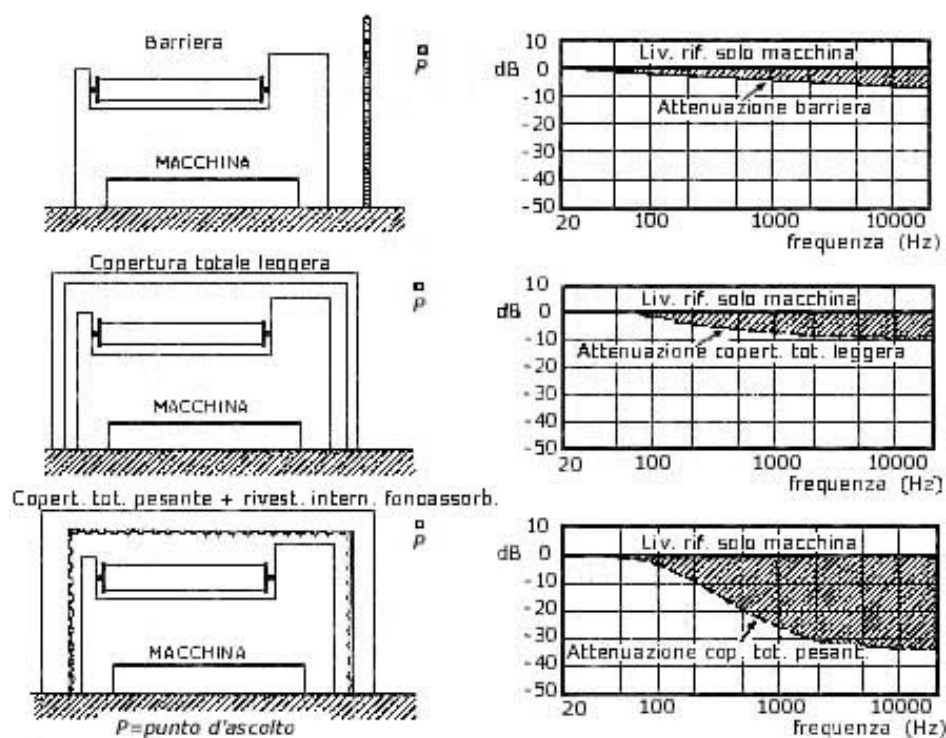


Figura 6.6: Esempi di riduzione della rumorosità trasmessa per via aerea da una macchina con l'impiego di una barriera, di una copertura integrale leggera e di una copertura pesante con rivestimento fonoassorbente interno. (*Adattato da Singal, 2000*)

Un tipo speciale di copertura integrale sono i cosiddetti rivestimenti o guaine isolanti, usati per avvolgere particolari componenti impiantistici quali tubi e condotti. L'intervento consiste nell'applicazione a diretto contatto con la superficie

esterna radiante di un materiale fonoassorbente, a sua volta ricoperto da un sottile lamierino metallico o da un foglio di materiale plastico ad alta densità. Tali interventi, che se ben eseguiti possono in generale assicurare buoni livelli di attenuazione acustica, sono assai meno complessi delle coperture rigide tradizionali, ma il loro impiego è comprensibilmente limitato a componenti particolari, le cui superfici non richiedono interventi di manutenzione periodici (vedi Scheda 17).

6.2.2. Cappottature acustiche (Coperture parziali)

Nei casi in cui non sia possibile impiegare coperture integrali (di solito perché è molto frequente l'intervento dell'operatore sulla macchina) una possibile soluzione alternativa è il ricorso alle cosiddette coperture parziali.

Le coperture parziali possono riguardare sia parti importanti dell'intera macchina che parti limitate di essa, come, ad esempio il motore elettrico o la scatola ingranaggi.

In generale, questo tipo d'intervento assicura sul posto di lavoro interessato un'attenuazione inferiore a quella offerta dalle cabine acustiche.

Comunque in linea di massima si può dire che con le coperture parziali è possibile ottenere valori d'attenuazione compresi tra 5÷15 dB(A) (vedi Scheda 17).

6.2.3. Schermi o barriere acustiche

Per schermo o barriera acustica s'intende una superficie rigida, solitamente piana, di dimensioni variabili e appoggiata per terra, sistemata in modo da interrompere il percorso diretto del rumore tra il punto di emissione sonora vero e proprio ed il lavoratore esposto. L'efficacia acustica di tale interposizione è in gran parte limitata dalla diffrazione sonora che avviene ai bordi e soprattutto alla sommità della barriera stessa, che tuttavia è in grado di creare, in corrispondenza della postazione di lavoro del lavoratore esposto, una zona d'ombra acustica in molti casi sufficiente ad ottenere una riduzione significativa del rumore. Operativamente, è opportuno realizzare schermi che garantiscono un angolo di almeno 30° tra la direzione sorgente-schermo e schermo-operatore (vedi Figura 6.7).

Gli schermi acustici sono solitamente impiegati sia negli stabilimenti industriali che nei grandi uffici organizzati a cosiddetto spazio aperto (*open space*).

Nel primo caso l'impiego più diffuso è quando la rumorosità prodotta da macchine/impianti/attività interessa lavoratori ad essa prossimi ma impegnati in attività non rumorose, e non è possibile separare queste due zone mediante un divisorio completo, da pavimento a soffitto e/o da parete a parete, a causa, ad esempio della presenza di un carro ponte, della necessità di permettere il passaggio di persone, veicoli, materiali, ecc. Spesso lo schermo è utilizzato anche per proteggere reciprocamente gli addetti di due o più (come nel caso di una fila di postazioni di lavoro, ad es.: addossate ad un muro) attività rumorose contigue e non separabili. Ci sono infine casi in cui gli schermi vengono realizzati in maniera dedicata per specifiche postazioni di lavoro.

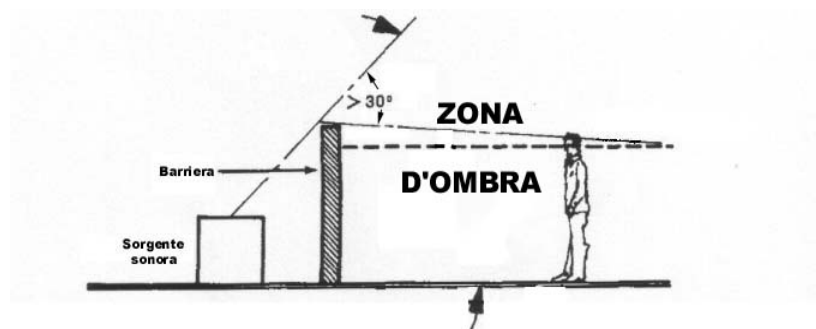


Figura 6.7: Come criterio generale, l'effetto d'attenuazione di una barriera sarà tanto maggiore, quanto maggiore di 30° sarà l'angolo relativo al punto d'ascolto situato nella zona d'ombra

Il ricorso agli schermi acustici può costituire una valida soluzione a patto che la sua adozione si accompagni al rispetto di almeno tre condizioni:

- a) la sorgente di rumore e il posto, o i posti, di lavoro da proteggere devono essere relativamente prossimi tra loro;
- b) il lato minore della barriera deve avere una dimensione pari ad almeno tre volte la lunghezza d'onda della componente in frequenza che maggiormente contribuisce a determinare il livello del rumore da schermare;
- c) l'uso di una barriera è efficace solo in condizioni ambientali di campo sonoro prossime a quelle di campo sonoro libero. Condizioni che in uno spazio chiuso si realizzano quando le pareti e il soffitto prossimi alla macchina sono rivestiti con materiali fonoassorbenti per ridurre al minimo le riflessioni delle onde sonore incidenti.

La struttura di una barriera industriale o di schermi per ufficio non richiede una progettazione particolarmente complessa. Una normale superficie rigida, costituita da pannelli monolitici o stratificati in metallo, legno o plastica e rivestiti su entrambi i lati con materiale fonoassorbente, è solitamente in grado di assicurare un potere fonoisolante e un assorbimento acustico adeguati allo scopo. Nei casi poi che ci siano particolari esigenze di visibilità e/o di illuminazione, è possibile inserire nella barriera, o alla sua sommità, lastre in policarbonato o in vetro di adeguato spessore (vedi Scheda 19).

6.2.4. Silenziatori

I silenziatori possono essere schematicamente definiti come dispositivi diretti ad attenuare la rumorosità trasmessa per via aerea da sorgenti di rumore di origine aerodinamica.

Sorgenti di questo genere, sotto forma di sistemi di movimentazione dell'aria (ventilatori, soffianti, ecc.), di scarichi pneumatici, di sistemi di raffreddamento o movimentazione di pezzi mediante aria soffiata, di sistemi di scarico gas ed altri simili, si trovano in molti ambienti di lavoro. Anche in questi casi la soluzione

migliore di bonifica è un intervento diretto sulla sorgente per ridurre l'emissione sonora o l'adozione di macchine o dispositivi a minore emissione acustica, ma quando ciò non è possibile il ricorso ai silenziatori può attenuare sensibilmente la rumorosità da essi diffusa nell'ambiente.

I silenziatori possono essere raggruppati in due categorie principali:

- silenziatori dissipativi;
- silenziatori reattivi.

Il tipo più elementare di silenziatore dissipativo è quello che si realizza rivestendo le pareti interne del condotto con un materiale fonoassorbente in grado di attenuare il rumore prodotto dal ventilatore lontano, sfruttando il principio dell'assorbimento acustico. Tanto più lungo sarà il tratto di condotto rivestito, tanto maggiore sarà la riduzione del rumore.

Un'alternativa assai più vantaggiosa è il ricorso a silenziatori di tipo dissipativo da inserire nel condotto quanto più vicino possibile al punto di generazione del rumore. Si tratta dei cosiddetti silenziatori "a setti fonoassorbenti paralleli", costituiti da un involucro esterno di contenimento (rettangolare o circolare) all'interno del quale vengono inseriti dei pannelli di materiale fonoassorbente, affiancati ad una certa distanza l'uno dall'altro, in modo da formare una serie di passaggi rettangolari (vedi Figura 6.8) o circolari.

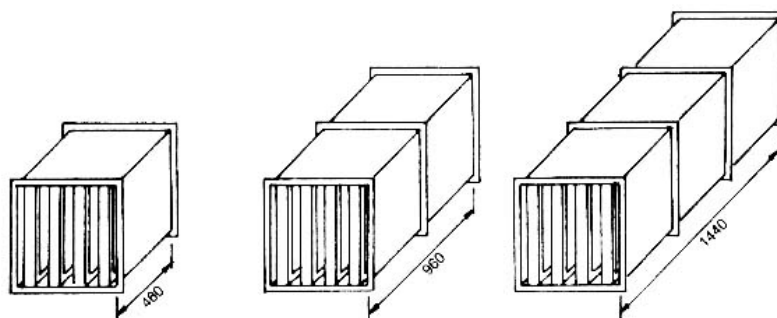


Figura 6.8: Moduli di silenziatore dissipativo a setti fonoassorbenti paralleli

In linea generale, le prestazioni di un silenziatore a setti sono determinate dalla larghezza e dalla lunghezza di ogni singolo passaggio d'aria: tanto più stretto e lungo è il passaggio, tanto più elevato è l'assorbimento acustico radente e quindi l'attenuazione del suono che lo attraversa. Ne consegue che per ottenere elevate prestazioni acustiche e non subire nel contempo significative perdite di carico, che potrebbero essere determinate dalla riduzione della sezione utile per il passaggio dell'aria, le dimensioni del silenziatore ad inserti dovranno essere notevolmente maggiori di quelle del condotto originale. A titolo puramente informativo si può dire che nei silenziatori a setti il valore di attenuazione raggiungibile in corrispondenza della frequenza di massimo assorbimento può essere compreso tra i 10 dB e i 30 dB per metro lineare di lunghezza.

Nel caso di rumore emesso da scarichi di aria compressa (tipicamente aria esausta scaricata da valvole pneumatiche), oppure da getti d'aria in pressione (utilizzati per pulizia e movimentazione di pezzi o per raffreddamento localizzato di materiali o parti di macchine), possono essere utilizzati particolari silenziatori di disegno molto più semplice e di dimensioni molto più contenute. In questo caso compito del silenziatore è principalmente quello di "regolarizzare" il getto di scarico dell'aria riducendone così la turbolenza a cui è associata la generazione di rumore in prossimità della sezione di uscita all'atmosfera.

I silenziatori di tipo reattivo si basano sul principio dell'assorbimento acustico per risonanza, o per riflessione, del rumore proveniente dalla sorgente. Ciò avviene ad esempio attraverso un condotto nel quale vi siano tutta una serie di camere ad espansione la cui geometria sia tale da riflettere verso il punto d'origine, o da assorbire per risonanza, parte dell'energia sonora che si propaga lungo di esso. L'esempio più noto di silenziatore reattivo è la marmitta di scarico dei veicoli stradali, ma dispositivi analoghi vengono applicati sugli scarichi delle turbine e di tutti quegli impianti che presentano gas in uscita a velocità e temperature elevate. Le prestazioni acustiche di questo tipo di silenziatori sono fortemente dipendenti dalle caratteristiche del rumore in ingresso e da quelle termiche e dinamiche dei gas che li attraversano. La gamma di attenuazioni ottenibili è comunque molto ampia, fino a valori dell'ordine di 50 ÷ 60 dB ed anche oltre.

Per situazioni particolarmente severe in cui sono richieste attenuazioni elevate in un largo spettro di frequenza, possono essere realizzati silenziatori di tipo misto, costituiti da una sezione reattiva e da una dissipativa, complementari l'una all'altra in termini di attenuazione acustica.
(Vedi Schede 22 e 23).

6.2.5. Interventi sulla propagazione per via solida

I collegamenti che la macchina ha attraverso il basamento e gli ancoraggi di stabilizzazione con le strutture edilizie dell'ambiente in cui è collocata, essendo generalmente costituiti da parti rigide, possono costituire una via di propagazione delle vibrazioni associate al funzionamento della macchina. Ciò può avere un duplice effetto negativo: in primo luogo determinare l'insorgere di danni o di disturbi nei lavoratori esposti; in secondo luogo suscitare, in ambienti anche lontani dalla sorgente, l'irraggiamento dell'energia sonora da superfici estese quali pareti, pavimenti, rivestimenti di macchine.

Gli interventi più praticati consistono nell'interposizione, tra la sorgente e le strutture da isolare, di appositi dispositivi in grado di attenuare il flusso di energia trasferita. Nella Tabella 6.4 sono compendiate le caratteristiche essenziali di alcuni dispositivi maggiormente impiegati in campo industriale.

Tabella 6.4. Principali dispositivi antivibranti impiegati in campo industriale (Spagnolo, 2001)

<i>Tipo di dispositivo</i>	<i>Campo di frequenza efficace</i>	<i>Frequenze ottimali</i>	<i>Smorzamento</i>	<i>Limiti</i>	<i>Osservazioni</i>
Molle metalliche a compressione elicoidale	Teoricamente per tutte le frequenze	Basse frequenze (con elevata deflessione statica)	Molto debole (o, l'1% dello smorzamento critico)	Trasmisione di alte frequenze	Molto diffuse e facili da progettare
Molle metalliche a balestra	Basse frequenze	Basse frequenze	Mediamente buono	--	Adattabili per applicazioni particolari
Gomma	Dipende dalla composizione	Alte frequenze	Aumenta con la durezza della gomma	Limitate capacità di carico	--
Sughero	Dipende dalla densità	Alte frequenze	Basso (6% dello smorzamento critico)	Limiti pratici al conseguimento delle frequenze propria minima	Fortemente comprimibile senza espansione laterale
Felti	Tutto il campo delle frequenze acustiche	Sopra 40 Hz	Elevato	Limiti pratici al conseguimento delle frequenze propria minima	
Gomma piuma	--	Basse frequenze	Discreto	Bassa rigidità con elevata compressibilità	Usata sotto forma di lastre o cuscineti sagomati
Cuscini d'aria	Frequenza controllata dal volume d'aria	Basse frequenze	--	--	--
Sistemi a molla metallica e gomma	Ampio campo di frequenza	Dipende dal progetto	Basso	--	Lo smorzamento può essere migliorato trattando la molla
Combinazioni gomma-sughero	Alte frequenze	Alte frequenze	--	--	Proprietà intermedie tra gomma e sughero
Lastre di gomma a superficie rigata o a rilievi	--	Frequenze medio-basse	Dipende dalla durezza della gomma	--	Deflessione statica a quella della gomma compatta

Altro accorgimento comunemente utilizzato consiste nel collocare la macchina su di un basamento antivibrante opportunamente dimensionato ed isolato dal resto del pavimento.

Nel ricorso a questo tipo d'interventi è essenziale verificare, preliminarmente, che l'applicazione dei dispositivi elastici di smorzamento non introduca alcun rischio di sbilanciamento o di oscillazione incontrollata dell'intera macchina. Inoltre, come già accennato, il montaggio di supporti antivibranti sul basamento della macchina può essere in parte, o totalmente, vanificato se si trascura di eliminare ogni altra connessione rigida tra la macchina e le parti strutturali dell'ambiente in cui è sistemata. Occorrerà quindi prestare la massima attenzione al fatto che ogni eventuale collegamento elettrico, idraulico, pneumatico avvenga attraverso condutture interamente flessibili o, quando ciò non fosse possibile, sarà necessario introdurre apposite sezioni e sospensioni elastiche in grado di attenuare la propagazione delle vibrazioni.
(Vedi Schede 4 e 13).

6.2.6. Interventi di controllo attivo del rumore e delle vibrazioni

Il controllo attivo del rumore e delle vibrazioni è una tecnologia recente basata sulla considerazione che la somma di segnali uguali in ampiezza e frequenza, ma in controfase, è nulla (fenomeno di interferenza distruttiva). I progressi registrati negli ultimi anni nel campo dell'elettronica e dell'analisi del segnale hanno consentito, come meglio illustrato nella Scheda 16, un sempre più vasto sviluppo applicativo di questo principio, le cui potenzialità non sono ancora interamente dispiagate.

L'interesse attualmente rivolto alle tecniche di riduzione attiva del rumore è motivato dal fatto che, mentre gli interventi "passivi" presentano le migliori prestazioni nei campi di frequenza medio alti e comportano spessori e masse sempre crescenti con il diminuire della frequenza da controllare, i dispositivi di riduzione attiva del rumore possono – quando applicabili - fornire risultati soddisfacenti, senza tali inconvenienti, proprio nel campo delle basse frequenze, inferiori cioè a 300÷400 Hz . Va quindi sottolineato che le due tecniche, quella "passiva" e quella "attiva", non sono incompatibili ed alternative tra loro; non è raro infatti il ricorso ad entrambe per la gestione ottimale di fenomeni sonori a largo spettro (vedi Scheda 16).

Allo stato di evoluzione attuale, le tecniche di controllo attivo presentano le seguenti principali limitazioni:

- il campo sonoro da gestire deve presentare caratteristiche spaziali non complesse: tipico esempio è la situazione di propagazione del suono in un condotto;
- l'intervento presenta buone efficacia se la lunghezza d'onda del suono è elevata rispetto alle dimensioni del campo sonoro da gestire: pertanto risultano normalmente efficaci gli interventi su frequenze di poche centinaia di Hz; solo quando l'obiettivo è la riduzione in una sola ben definita direzione possono essere affrontate anche frequenze relativamente più alte.

Significative riduzioni del rumore (10-20 dB a frequenze inferiori ai 500 Hz) possono essere ottenute in spazi chiusi o limitati essenzialmente in relazione a fenomeni ripetitivi. Il rumore emesso all'uscita di scarichi e condotti, per esempio in impianti di ventilazione, può essere ridotto con ottimi risultati.

6.2.7. Cabine per operatori

Nel caso di impianti rumorosi di grandi dimensioni, quali turbine, alternatori, caldaie, linee di laminazione, macchine tipografiche, linee di fabbricazione della carta, impianti ceramici, di macinazione ecc., un'alternativa possibile è la creazione di un ambiente acusticamente protetto, all'interno del quale operino i lavoratori. Ciò vale soprattutto in quelle situazioni in cui le mansioni da svolgere sono più di sorveglianza e di controllo, attraverso la maggiore centralizzazione possibile dei comandi, che d'intervento diretto sulla macchina. In quest'ultimo caso è importante che uscendo dalla cabina l'operatore sia sempre dotato di DPI uditivi.

L'efficienza di una cabina per operatore (normalmente 20-30 dB(A)) è direttamente correlata con il potere fonoisolante assicurato dalle pareti laterali, dal soffitto, dal pavimento e dall'isolamento di quest'ultimo dalle vibrazioni trasmesse per via strutturale. Valgono in questo caso le stesse considerazioni generali espresse per le coperture integrali delle macchine, ma con l'avvertenza che rispetto ad esse molto più critica ed estesa è la superficie costituita da porte d'accesso, finestre, condotti per il ricambio o il condizionamento dell'aria (deve infatti essere adeguatamente garantita aria di rinnovo ed il controllo dei parametri termoigrometrici; l'interno della cabina va mantenuto in sovrappressione), impianti per l'illuminazione interna, ecc. Tutti particolari questi che esigono molta attenzione, sia in sede di progettazione che di montaggio, per evitare punti acusticamente deboli che possono pregiudicare l'isolamento acustico complessivo.

L'efficacia di una cabina di riposo acustico è invece determinata essenzialmente dalla percentuale di tempo che gli operatori vi possono trascorrere all'interno rispetto al tempo di esposizione giornaliero al rumore. Infatti, quando la percentuale di tempo fuori dalla cabina sia superiore al 35-40 %, la riduzione del L_{EP} si riduce a 4-5 dB(A). Anche in tale situazione, comunque, l'intervento si giustifica se non altro per la possibilità di interrompere l'uso di DPI.

Affinché la cabina operatore abbia un'efficienza acustica ottimale occorre minimizzare il tempo che l'operatore trascorre all'esterno. La massima attenzione progettuale va dunque finalizzata a:

- a) trasferire i comandi, gli strumenti ed i segnali di controllo della/e macchina/e all'interno della cabina;
- b) garantire un buon comfort climatico e di rinnovo dell'aria;
- c) realizzazione di sistemi di ispezione visiva tramite telecamere a circuiti chiuso.

Non va infine trascurato che spesso una cabina operatore, specialmente se individuale e di piccole dimensioni, può essere causa di disagio per il lavoratore in essa confinato, e ciò soprattutto per le limitazioni che essa impone nei rapporti interpersonali di lavoro e per il senso d'isolamento che deriva da un prolungato

periodo di lavoro al suo interno. Vanno comunque evitate cabine operatore di dimensioni inferiori a 10 m³ e 2 m² per addetto ed altezza inferiore a 2,40 m. (Vedi scheda 18).

6.2.8. Trattamenti fonoassorbenti ambientali

La propagazione del suono in un ambiente chiuso oltre che dalla trasmissione per via diretta è influenzata dalle caratteristiche di assorbimento acustico delle pareti, del pavimento e del soffitto. Tanto minore sarà tale assorbimento, tanto maggiore sarà la parte di energia sonora incidente che verrà riflessa, e quindi tanto maggiore sarà il contributo con cui questa parte d'energia concorrerà alla formazione del livello di rumore presente sui vari posti di lavoro. Da qui il ricorso, molto diffuso negli ambienti industriali rumorosi, al rivestimento delle pareti e dei soffitti con materiali o strutture fonoassorbenti piane, oppure, solo nel caso dei soffitti, con file di elementi fonoassorbenti sospesi (*baffles*), al fine di ridurre il fenomeno di riflessione nell'ambiente, delle onde sonore incidenti.

Le caratteristiche e le prestazioni acustiche di questi rivestimenti, la cui tipologia è estremamente variegata, sono espone nella Scheda 20, mentre per le considerazioni generali sull'efficacia e l'opportunità dell'adozione di questo tipo d'intervento di bonifica si rimanda alla parte dedicata alla progettazione acustica dei luoghi di lavoro ed in particolare al punto 3.2.6.

6.3. MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ

Una regolare manutenzione è una delle modalità più efficaci, pur se ancor oggi troppo spesso disattesa, per non incrementare le emissioni di rumore. Si consideri anche che, poiché la generazione primaria di rumore avviene da vibrazioni, queste determinano oltretutto problemi per la vita operativa (durata) delle macchine, per la qualità del prodotto e per la sicurezza del lavoro più in generale.

La risposta corretta a questi problemi è una manutenzione di tipo preventivo. Se le operazioni di manutenzione vengono eseguite a rottura (aspettando cioè il guasto o il blocco per intervenire), si ha una maggiore frequenza di microguasti e disfunzioni. Queste situazioni, di per sé negative sotto l'aspetto produttivo, in determinate circostanze causano poi vere e proprie "emergenze" nelle quali, per la necessità di operare in tempi ristretti, gli addetti risultano particolarmente a rischio.

Il programmare periodici controlli volti alla riduzione dei giochi meccanici e degli sbilanciamenti, alla sostituzione dei cuscinetti e delle parti che si usurano, alla sostituzione o al ripristino dei silenziatori sugli scarichi di aria compressa, alla lubrificazione, sono invece alcuni tra i possibili esempi degli interventi manutentivi più efficaci a contenere il rumore. Il verificare e rinserare gli ancoraggi dei carter e delle protezioni sulle macchine permette poi di ridurre il rischio infortunistico.

Anche gli interventi di bonifica acustica abbisognano di manutenzione. Spesso, l'intervento di bonifica acustica effettuato sulla sorgente di emissione del rumore si traduce nell'aggiunta di un'appendice ad un elemento già esistente. Questo elemento per il fatto di essere posto in opera in un secondo momento è soggetto a sollecitazioni supplementari che lo possono far divenire una sorgente addizionale di rumore o, anche, un centro di pericolo.

In presenza di insonorizzazioni di tipo passivo (cabine, schermi...) occorrerà verificarne l'integrità ai fini della tenuta acustica, particolarmente nei punti di passaggio o in quelli esposti ad impatti dovuti al transito del materiale in lavorazione, di veicoli, di addetti.

La manutenzione può quindi assumere il significato di una verifica dei problemi di funzionalità e, se del caso, di miglioramento delle bonifiche acustiche presenti. Essa può però segnalarci anche eventuali comportamenti scorretti (disattenzioni, manomissioni...) dei lavoratori o carenze di sorveglianza da parte dei quadri intermedi.

A buon diritto, la manutenzione deve poi orientare le scelte realizzative delle bonifiche acustiche. Così, in generale, nella scelta del tipo di intervento o bonifica, gli operatori della manutenzione devono essere consultati, congiuntamente alla funzione produzione, per individuare i rispettivi interessi ed esigenze sulla macchina o impianto.

Affinché la manutenzione possa essere eseguita agevolmente, le cabine, le cappottature o schermature devono risultare, tenendo conto dei limiti imposti dal *layout* e dagli aspetti economici, ampie, non strettamente avvolgenti il perimetro, contorno o bordo. In molti casi l'operatore deve poter lavorare all'interno della cabina (a macchina ferma) per la revisione o sostituzione di una attrezzatura, per una semplice messa a punto.

L'accesso deve avvenire su più lati, in funzione dell'ubicazione dei differenti organi meccanici; importante è che comunque i portelli siano di facile apertura (possibilmente incernierati per evitarne l'asportazione) nonostante le dimensioni e il peso, e che siano realizzati nel rispetto delle norme antinfortunistiche.

Non esistono poi solamente le manutenzioni correnti, ma anche quelle straordinarie e in questi casi, ad esempio, occorrerà rimuovere più o meno completamente la bonifica acustica. La cosa si dimostrerà gestibile, ad esempio, in presenza di strutture portanti metalliche imbullonate e non saldate in opera (la tentazione potrebbe essere forte all'atto dell'acquisto!), composte da pannelli modulari.

In queste situazioni è particolarmente importante la struttura della soluzione di bonifica: sia che si tratti di una cabina che di un semplice schermo, la struttura dovrà essere in ogni caso robusta e con il materiale fonoassorbente contenuto e protetto da reticolo metallico (solitamente lamierino in alluminio). Solo in questo caso, smontaggio dopo smontaggio, manutenzione dopo manutenzione, si potranno conservare le strutture in buono stato.

Riassumendo una bonifica acustica deve rispondere a connotazioni di efficacia, semplicità, praticità e robustezza, ma anche interferire al minimo nei confronti del processo.

7. COLLAUDO ACUSTICO IN OPERA DEGLI INTERVENTI DI CONTROLLO DEL RUMORE

Il problema del collaudo degli interventi di bonifica acustica effettuati direttamente su macchine ed attrezzature o sui percorsi di propagazione del rumore da esse prodotto, richiede anch'esso per la sua soluzione l'esistenza di un corretto rapporto tra Committente e Fornitore. Tale questione richiede la preparazione e l'inserimento di uno specifico capitolato di collaudo, formulato in modo competente ed accurato, all'interno del più generale capitolato d'appalto che regola la fornitura dell'intervento.

Anche il problema della verifica di efficacia di un intervento di bonifica acustica effettuato sulla linea di propagazione del rumore o sull'ambiente di lavoro in generale (inteso come involucro di contenimento), si pone normalmente nell'ambito di un rapporto corretto e trasparente tra Committente e Fornitore.

La verifica di efficacia acustica (o "collaudo acustico") è in genere costituita da una serie di misurazioni fonometriche atte a stabilire *in opera* se il manufatto, l'intervento, o il dispositivo applicato, rispetta o meno l'impegno ("garanzia acustica") che il Fornitore ha assunto in sede contrattuale con il Committente. Questa verifica viene normalmente richiesta al fornitore dell'opera. Più raramente, e soprattutto nel caso di appalti pubblici, viene demandata a tecnici competenti terzi. E' di importanza primaria che la metodologia di collaudo adottata per le verifiche sia chiaramente concordata tra Committente e Fornitore già in sede di contratto di acquisto, e questo ovviamente per evitare contestazioni o contenziosi *post operam*. A questo proposito appare logico, al fine di garantire la migliore tutela degli interessi di entrambe le parti, fare riferimento a procedure di collaudo coerenti con le normative tecniche disponibili, generalmente di emanazione UNI e/o EN e ISO.

Per quanto riguarda le macchine, la metodologia principale e più diffusa si basa sulla misura, in corrispondenza del posto di lavoro considerato, del livello sonoro equivalente, prima e dopo, l'intervento di bonifica in questione. L'efficacia di tale criterio di collaudo presuppone però il rigoroso rispetto di almeno due condizioni fondamentali:

1. tutte le misure devono avvenire in condizioni di funzionamento della macchina prestabilite ed esattamente uguali; anche le condizioni ambientali al contorno (temperatura, umidità percentuale, vicinanza di grandi oggetti solidi con superfici riflettenti) devono essere quanto più possibile simili;
2. tutte le misure devono essere effettuate in modo da evitare ogni possibile influenza del rumore di fondo ambientale sul livello sonoro equivalente rilevato sul posto di lavoro. Perché ciò avvenga è necessario, come è noto, che il livello del rumore di fondo sia stabilmente inferiore di oltre 10 dB a quello prodotto dalla macchina. Se tale differenza è minore occorre portare al livello sonoro misurato sul posto di lavoro con la macchina in funzione la correzione specificatamente prevista dalla normativa. Tenendo però anche presente che quando tale differenza è inferiore a 6 dB, la misura, e quindi la sua ripetibilità, iniziano a diventare precarie.

Nella fase di stesura del collaudo, si può anche concordare di non limitare i rilievi alla sola postazione di lavoro in esame, ma di estendere le misure a tutta l'area circostante alla sorgente in questione, in modo da verificare l'efficacia dell'intervento non solo rispetto alla posizione dell'addetto, ma anche rispetto ad eventuali posti di lavoro vicini.

Oltre al livello sonoro equivalente, un altro indicatore che può essere utile rilevare, per una più approfondita e articolata verifica dell'efficacia di un intervento, è la distribuzione spettrale del segnale sonoro emesso dalla macchina, prima e dopo, o con e senza, l'intervento, sempre in corrispondenza del posto di lavoro in esame. Tanto più che una tale rilevazione è comunque indispensabile, in fase preliminare, per una corretta progettazione dell'intervento di bonifica.

Assai migliore, sotto il profilo della normativa tecnica di riferimento, è la definizione delle procedure di collaudo relative agli interventi di bonifica sulla propagazione del rumore per via aerea che sono trattati in dettaglio nel secondo livello secondo lo schema:

- Coperture fonoisolanti – (Scheda 25.1)
- Schermi e barriere fonoisolanti – (Scheda 25.2)
- Silenziatori – (Scheda 25.3)
- Cabine per operatore – (Scheda 25.5)

Come si è visto nel Capitolo 6, tali interventi costituiscono in effetti la stragrande maggioranza degli interventi di insonorizzazione di tipo “passivo”, rivolti cioè a ridurre il rumore nei posti di lavoro agendo sul percorso di propagazione diretta.

Successivamente verranno illustrate le procedure inerenti il collaudo degli interventi di insonorizzazione dei luoghi di lavoro, secondo lo schema:

- Trattamenti fonoassorbenti ambientali – (Scheda 25.4)
- Requisiti acustici passivi degli edifici – (Scheda 25.6)
- Impianti di climatizzazione e ventilazione – (Scheda 25.7)

Ovviamente, per la realizzazione degli interventi di bonifica acustica e del loro collaudo ci si deve affidare a tecnici competenti che abbiano i necessari requisiti di professionalità e di esperienza in questo specifico settore (vedi Scheda 7).

8. BIBLIOGRAFIA

8.1 BIBLIOGRAFIA GENERALE

1. A.Barber (edited by, 1992), *Handbook of Noise and Vibration*, Sixth Edition, Elsevier, Oxford
2. L.L. Beranek (edited by, 1988), *Noise and Vibration Control*, INCE, USA
3. L.L. Beranek , I.L. Vér (edited by, 1992), *Noise and Vibration Control Engineering*, J. Wiley & Sons, Inc, New York
4. E. Cirillo (1997), *Acustica applicata*, McGraw-Hill Libri Italia, Milano
5. M.J. Croker (edited by, 1997), *Encyclopedia of Acoustics*, Vol. II, J. Wiley & Sons, Inc, New York
6. M.J. Croker (edited by, 1998), *Handbook of Acoustics*, J. Wiley & Sons, Inc, New York
7. F.A. Everest (1996), *Manuale di acustica*, HOEPLI, Milano
8. F. Fahy, (2001), *Foundations of Engineering Acoustics*, ACADEMIC PRESS, London
9. F. Fahy, J. Walker (1998), *Fundamentals of Noise and Vibration*, E&FN SPON, London and New York
10. FIOH (Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2003), *Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control*, Berlin
11. J. E. K. Foreman (1990), *Sound Analysis and Noise Control*, Van Nostrand Reinhold, New York
12. C.M. Harris (1983), *Manuale di controllo del rumore. Tecniche Nuove*, Milano
13. C. M. Harris (1991), *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*, McGraw Hills, New York
14. HSE (1995), *Sound solutions: Techniques to reduce noise at work*, Health and Safety Executive books, Sudbury U.K.
15. HSE (2004), *Proposals for new Control of Noise at Work. Regulations implementing the Physical Agents (Noise) Directive 2003/10/EC*, Health and Safety Executive Books, Sudbury UK
16. P.A. Nelson, S.J. Elliott (1992), *Active Control of Sound*, ACADEMIC PRESS, London
17. S.P. Singal (2000), *Noise pollution and Control*, Narosa, New Delhi
18. R. Spagnolo (a cura di, 2001), *Manuale di acustica applicata*, UTET, Torino
19. M. Vigone (1985), *Progettare il silenzio*, Hoepli, Milano

8.2 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA

Capitolo 1

1. S. Casini (2002), *Calcolo del rischio di danno uditivo*, Atti del Convegno “dBA 2002”, Az.USL Modena
2. F. D’Amico e altri (2002), *Le malattie professionali in Italia: evoluzione storica, tendenze in atto e prospettive future*, Atti del Convegno “dBA 2002”, Az.USL Modena

3. Decreto Ministeriale 12 luglio 2000 – Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale - “Approvazione di "Tabella delle menomazioni", "Tabella indennizzo danno biologico", "Tabella dei coefficienti", relative al danno biologico ai fini della tutela dell'assicurazione contro gli infortuni e le malattie professionali”
4. INAIL, Circolare n. 22 del 07/07/1994 *Nuova tabella valutativa unica per le otopatie professionali*
5. INAIL, *Rapporto annuale 2002*, Roma 2003
6. G. Spada (2003), *Gli incentivi dell'INAIL per la riduzione delle ipoacusie professionali: quale futuro*, Atti del Convegno “dBA 2003”, Az.USL Modena

Capitolo 2

1. ASL Modena (1999), Atti del Convegno *dBAincontri99 - Rumore e vibrazioni: dalla valutazione alla bonifica*, Modena
2. ASL Modena (2002), Atti del Convegno *dBA2002 - Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche: valutazione, prevenzione e bonifica negli ambienti di lavoro*, Modena
3. ASL Modena (2003), Atti del Convegno *dBAincontri2003 – Metodologie e interventi tecnici per la riduzione del rumore negli ambienti di lavoro*, Modena
4. *Direttiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 6 febbraio 2003 sulle prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore) (diciassettesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)*, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea N. L42/38 del 15.2.2003
5. Dossier Ambiente N. 54 (2001), *Il rumore nei luoghi di vita e di lavoro*, Trimestrale dell'Associazione Ambiente e Lavoro, Milano
6. ISPESL (2001), *Linee guida per la valutazione del rischio da rumore negli ambienti di lavoro*, Dipartimento Documentazione, Informazione e Formazione, Roma
7. UNI EN ISO 11690-1: 1998 *Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario – Strategie per il controllo del rumore*, UNI Milano

Capitolo 3

1. A. Briganti (1981), *Il controllo del rumore negli ambienti civili e industriali*, Tecniche Nuove, Milano
2. AA.VV. (1994), *Manuale per la prevenzione del rischio rumore nelle aziende produttrici di contenitori metallici*, 92-99, ANFIMA-Regione Emilia-Romagna, Milano
3. AIA (1998), Atti del Convegno Nazionale *La valutazione d'impatto acustico in attuazione della legge 447/95*, Lecco
4. AIA (2002), Atti del Seminario *Immissione di rumore e vibrazioni da impianti civili e stabilimenti industriali*, Modena
5. A. Farina (1995), *Ramsete – a new Pyramid Tracer for medium and large scale acoustic problems*, Proc. EURONOISE '95, Lyon (France)

6. A. Farina (1999), *Propagazione del suono e previsione del rumore negli ambienti di lavoro*, Atti del Seminario dBaincontri 1999, Modena
7. ASL Modena (2001), Atti del Convegno NIP2001 – *Nuovi insediamenti produttivi: requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro*, Modena
8. G. Elia, G. Geppetti (1994), *Progettazione acustica di edifici civili e industriali*, La Nuova Italia Scientifica, Roma
9. R. Gamba, G. Abisou (1992), *La protection des travailleurs contre le bruit – Les points clés. Colletion outils et Méthodes*, ANACT, Paris
10. R. Gigante (1996), *Rumore ed isolamento acustico*, Dario Flacconio Editore, Palermo
11. INRS, *Notes documentaires 30 (Noise control in specific industrial branches)*, rue Olivier Noyer, 75680 Paris Cedex 14, France
12. M. Toni (1996), *L'isolamento acustico in edilizia*, EdilStampa, Roma
13. UNI EN ISO 11690-2: 1999 *Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario – Provvedimenti per il controllo del rumore*, UNI Milano
14. UNI EN ISO 11690-3: 2000 *Acustica - Raccomandazioni pratiche per la progettazione di ambienti di lavoro a basso livello di rumore contenenti macchinario – Propagazione del suono e previsione del rumore in ambienti di lavoro*, UNI Milano

Capitolo 4

1. AIA (1995), Atti della Giornata di studio *Rumore e ambienti scolastici*, Ferrara
2. AIA (2004), Atti del Seminario nazionale *Acustica e ambienti scolastici*, Venezia
3. ANPA (1997), *Verifica dei livelli sonori all'interno dei locali di intrattenimento danzante o di pubblico spettacolo*, RTI 1/97 – AMB – ACUS, Roma
4. ANPA (2001), *Linee guida applicative al D.P.C.M. n. 215 del 16 aprile 1999*, Manuali e linee guida 5/2001, Roma
5. APPA Trento (1998), Atti Convegno nazionale *Edilizia e Ambiente – Microclima, illuminazione, qualità dell'aria e rumore: scelte progettuali e impiantistiche nelle abitazioni, negli uffici e negli ambienti destinati a comunità*, Trento
6. ASL Modena (2001), Atti del Convegno NIP2001 – *Nuovi insediamenti produttivi: requisiti e standard prestazionali degli edifici destinati a luoghi di lavoro*, Modena
7. U. Ayr, E. Cirillo (1998), *Requisiti e prestazioni acustiche degli uffici*, Atti Convegno nazionale *Edilizia e Ambiente*, 477-495, Trento
8. R. Bottio, S. Novo (2003), *La progettazione acustica degli edifici*, Qualità & Competitività, Milano
9. A. Fry and staff of Sound Research Laboratories (1988), *Noise control in building services*, Pergamon Press, Oxford U.K.
10. G. Iannace, C. Ianniello, L. Maffei, *Prediction of indoor noise levels caused by the operation of Hvac Systems*, Proc. Healthy Buildings 1995, vol.3, p.1579-1584

11. M.E. Schaffer (1993), *Guida pratica al controllo del rumore e delle vibrazioni*, PEG, Milano

Capitolo 5

1. AIA (1993), *Atti del Convegno Rumore e vibrazioni: certificazione delle macchine*, Modena
2. AIA (2001), *Atti del Convegno La direttiva 2001/14/CE: inquinamento acustico prodotto da macchine e attrezzature destinate a funzionare all'aperto*, Bologna
3. B. Cammarota e altri (2002), *I livelli di rumorosità nelle sale operatorie*, Tecnica Ospedaliera, ottobre 2002 pp. 58-69
4. Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome (1999), *Modalità operative per l'applicazione del D.Lgs.626/94 in relazione all'emanazione del D.P.R.459/96, Linee guida sui Decreti 494/96 (cantieri), 459 (macchine) e controllo 6262*, maggio 1999, Ravenna
5. ISPESL (2002), *Linee guida per l'uso in sicurezza delle motoseghe portatili per potatura*, Dipartimento Tecnologie di Sicurezza, Roma
6. Commissione europea - *Documento di sintesi sulle linee guida per l'applicazione della direttiva 2000/14/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto*
http://europa.eu.int/comm/environment/noise/021016ppwg_it.pdf
7. Commissione Europea - *Normativa Comunitaria sulle macchine. Commenti alla direttiva 98/37/CE*
http://europa.eu.int/comm/enterprise/mechan_equipment/machinery/guide/guide_it.pdf
8. L. Nielsen, *European machinery Directive 89/392 - Clauses on noise in safety standards*, Proceedings InterNoise '96, Liverpool U.K.
9. G.A. Sehrndt, P. Becker, *The standardization gap and the machinery noise declaration*, Proceedings InterNoise '97, Budapest
10. VDI-Richtlinie, *Emissionskennwerte technischer Schallquellen (Emission values of noise sources)*, Beuth Verlag, Berlin

Capitolo 6

1. AA.VV. (1979), *Le contrôle du bruit dans l'industrie*, SALEX.
2. Brüel&Kjær (1982), *Noise Control: Principles and practice*, Nærum, Denmark
3. P.A. Nelson, S.J. Elliott (1992), *Active control of sound*, Academic Press
4. FIOSH (Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2003), *Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control*, Berlin
5. Health & Safety Executive (1983), *A report from HM Factory Inspectorate: 100 Practical Applications of Noise Reduction Methods*, London
6. M. Hodgson (1989), *Case history: factory noise prediction using ray tracing – Experimental validation and effectiveness of noise control measures*, Noise Control Engineering J., 33 (3), 87-104

7. E.A. Lindquist (1983), *Noise attenuation in factories*, Appl. Acoustics 16, 183-214
8. Modulo Uno (1978), *Incapsulaggio di sorgenti a bassa frequenza*, Inquinamento, aprile 1978
9. Modulo Uno (1978), *Riduzione di rumore delle presse*, Inquinamento, maggio 1978
10. Modulo Uno (1978), *Il silenziamento degli scarichi d'aria*, Inquinamento, giugno 1979
11. A. Sarti (1981), *Metodi ed esempi di riduzione del rumore nelle macchine per la lavorazione del legno*, Atti del Seminario del Consorzio Studi e Ricerche SCM, Rimini
12. I. Sharland (1980), *L'attenuazione del rumore*, Ed. Woods Italiana, Milano

CAPITOLO 7

Per questo capitolo si rimanda alla normativa tecnica generale riportata nel punto A4 del terzo livello di questo Manuale. Nello specifico, si cita la seguente pubblicazione:

CIADI-ANIMA (2003), *Procedure per il collaudo acustico*, Milano

9. GLOSSARIO

Area di assorbimento acustico equivalente (A): assorbimento acustico in un ambiente con n superfici e superficie totale S (m²)

$$A = \alpha_1 S_1 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i = \bar{\alpha} \cdot S \quad \text{m}^2$$

ove α_i è il coefficiente di assorbimento acustico della i-esima superficie S_i e $\bar{\alpha}$ è il coefficiente di assorbimento medio dell'ambiente.

Assorbimento acustico (fonoassorbimento): capacità di un materiale di convertire l'energia sonora in calore riducendo così la frazione di energia sonora riflessa.

Baffle: dispositivo fonoassorbente, vincolato al soffitto e sospeso verticalmente in varie configurazioni geometriche (ad es. disposto in file), installato per aumentare l'assorbimento acustico in un ambiente e ridurre la riverberazione.

Banda di frequenza: intervallo tra due frequenze, superiore f_s e inferiore f_i , solitamente in una predefinita relazione tra loro.

Banda di ottava: banda di frequenza ove il rapporto tra la frequenza superiore e quella inferiore è pari a 2. Il campo dei suoni udibili comprende 10 bande di ottava standardizzate nelle frequenze centrali di banda di 31,5, 63, 125, 250; 500, 1000, 2000, 4000, 8000 e 16000 Hz.

Bonifica acustica: interventi tecnici finalizzati a ridurre l'esposizione dei lavoratori al rumore.

Cabina acustica (Copertura integrale) : intervento sulla propagazione sonora consistente nel realizzare sulla sorgente una chiusura, la più completa possibile compatibilmente con le esigenze tecniche.

Cabina per operatore (o Cabina di riposo acustico): ambiente chiuso, progettato per proteggere gli operatori dal rumore, al cui interno questi stazionano svolgendo operazioni di sorveglianza e di controllo dell'impianto a distanza.

Campo sonoro: regione dello spazio sede di un sistema di onde sonore. In assenza di ostacoli alla propagazione sonora esistono solo le onde direttamente irradiate dalla sorgente (*campo libero*). In un ambiente chiuso le riflessioni sulle pareti generano un sistema complesso di onde riflesse che si propagano in molteplici direzioni (*campo riverberante*). Quando queste riflessioni, a seguito delle diffusioni ad esse associate, sono statisticamente distribuite in modo uniforme in tutte le direzioni si è in presenza di *campo diffuso*.

Cappottatura acustica (Copertura parziale): intervento sulla propagazione sonora consistente nel realizzare una chiusura di una parte, significativa ma non completa, della sorgente

Clima acustico: rumore presente nell'area in cui si trova l'insediamento ove viene svolta l'attività lavorativa.

Coefficiente di assorbimento acustico (α): descrive quantitativamente le proprietà di assorbimento acustico di un materiale ed è definito dal rapporto tra energia sonora assorbita ed energia incidente sulla superficie del materiale. I suoi valori sono compresi tra 0 (riflessione completa) e 1 (assorbimento massimo) e variano in funzione della frequenza.

Collaudo acustico: verifica sperimentale di un intervento o di un dispositivo per accertarne l'idoneità e la conformità agli obiettivi acustici di capitolato o di progetto.

Controllo attivo: tecnica che riduce il rumore e la vibrazione basandosi sull'interferenza distruttiva delle onde, ottenuta generando un segnale avente la stessa ampiezza del segnale da controllare ma fase opposta. Di contro, ogni altro intervento di controllo del rumore si definisce "passivo".

Decadimento temporale del livello di pressione sonora: diminuzione del livello di pressione sonora in funzione del tempo in una data posizione a seguito dell'interruzione dell'emissione della sorgente.

DPI uditivi (Dispositivi di Protezione Personale dell'udito): dispositivi per la protezione dell'udito a carattere strettamente individuale volti alla riduzione dell'energia sonora incidente sull'apparato uditivo; vanno utilizzati quando le altre modalità di contenimento del rischio non hanno dato esiti sufficienti. Tra i tipi più diffusi si citano le cuffie e gli inserti auricolari

Divergenza geometrica: attenuazione progressiva dell'ampiezza dell'onda sonora all'aumentare della distanza dalla sorgente.

Eccesso del livello di pressione sonora (DL_f): differenza tra il livello di pressione sonora ad una data distanza dalla sorgente ed il livello alla medesima distanza in campo libero.

Efficacia: effettivo raggiungimento dell'obiettivo prefissato, produzione dell'effetto che si desidera nella situazione specifica

Efficienza: capacità (potenziale) di produrre un dato effetto, di raggiungere certi risultati

Emissione acustica: insieme delle onde sonore emesse dalla sorgente in tutte le direzioni nello spazio circostante la sorgente stessa.

Esposizione quotidiana personale di un lavoratore al rumore ($L_{EP,d}$): livello di esposizione L_{EP} riferito a 8 ore giornaliere.

Frequenza (f): numero di oscillazioni nell'unità di tempo della pressione atmosferica rispetto al suo valore in assenza di onde sonore. Si misura in cicli al secondo, Hertz (Hz). Il campo dei suoni udibili convenzionalmente è compreso tra 20 e 20000 Hz. Pur non esistendo una classificazione standardizzata, solitamente le *alte frequenze* sono comprese tra 1000 e 20000 Hz, le *frequenze medie* tra 200 e 1000 Hz e le *basse frequenze* tra 20 e 200 Hz.

Immissione acustica: insieme dei suoni presenti in una data posizione e in un tempo definito.

Impatto acustico: effetto indotto e relative variazioni delle condizioni sonore preesistenti in una determinata porzione del territorio, dovuto all'inserimento di nuove sorgenti (ad es. un nuovo insediamento o un suo ampliamento, modifica del ciclo produttivo, ecc.).

Indice del livello normalizzato di rumore di calpestio in opera ($L'_{nT,w}$): come descritto nel D.P.C.M. 05/12/97, indica il valore massimo del rumore di calpestio, normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, che l'ambiente "disturbante" può indurre in un ambiente sottostante (ambiente "disturbato"). A valori decrescenti di L'_{nT} corrispondono prestazioni migliori del solaio.

Indice del potere fonoisolante apparente (R'_w): descrive l'isolamento acustico per via aerea di partizioni tra ambienti contigui, considerando oltre alla trasmissione diretta anche quella laterale.

Indice di articolazione (AI, Articulation Index): grandezza correlata alla intelligibilità della comunicazione tra parlatore e ascoltatore posti frontalmente ad una certa distanza. Il valore varia da 0 (intelligibilità nulla) a 1 (intelligibilità massima). È applicabile in ambienti poco riverberanti.

Indice di attenuazione spaziale al raddoppio della distanza (DL₂): diminuzione del livello di pressione sonora per ogni raddoppio della distanza dalla sorgente. In campo libero la diminuzione è di 6 dB per ogni raddoppio della distanza da una sorgente sferica.

Indice di intelligibilità del parlato (SII, Speech Intelligibility Index): descrittore dell'intelligibilità del messaggio verbale, derivato e sostanzialmente identico all'indice di trasmissione del parlato STI.

Indice di isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione (D_{2m,nT,w}): descrive l'attenuazione alla trasmissione di rumore per via aerea da parte delle pareti perimetrali nei confronti sia dell'immissione di rumori esterni sia dell'emissione di rumori interni verso ricettori esterni.

Indice di trasmissione del parlato (STI, Speech Transmission Index): descrittore che valuta l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione dell'intelligibilità del messaggio verbale. Assume valori compresi tra 0 (intelligibilità nulla) e 1 (intelligibilità massima).

Indice rapido di trasmissione del parlato (RASTI, RApid Speech Transmission Index): metodo che valuta l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione dell'intelligibilità del messaggio verbale.

Intelligibilità del messaggio verbale: solitamente espressa in termini di percentuale di parole o frasi correttamente comprese dall'ascoltatore rispetto alla totalità delle frasi pronunciate dal parlatore.

Interferenza acustica: complesso dei fenomeni che si generano in presenza di due o più onde sonore interagenti.

Isolamento acustico (D): differenza tra i valori medi del livello di pressione sonora in dB rilevati in due ambienti adiacenti, uno contenente la sorgente sonora L₁ e l'altro di ricezione L₂:

$$D = L_1 - L_2 \text{ dB}$$

Livello continuo equivalente (L_{eq}): livello di pressione sonora di un suono continuo e costante avente, in un determinato intervallo di tempo T, la medesima pressione quadratica media del suono variabile nello stesso intervallo T:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB}$$

ove $T = t_2 - t_1$, $p(t)$ è la pressione sonora (Pa) del suono variabile nell'intervallo di tempo T e $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ la pressione sonora di riferimento.

Livello corretto del rumore di impianto (L_{ic}): livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A prodotto dal solo impianto di riscaldamento, condizionamento o ventilazione e corretto per tenere conto delle eventuali componenti impulsive e/o tonali e delle caratteristiche fonoassorbenti dell'ambiente di misura come da UNI 8199:1998.

Livello di esposizione (L_{EP}): livello continuo equivalente in dB(A) rilevato al posto operatore o a 10 cm dal suo orecchio in condizioni operative, durante il normale

svolgimento dell'attività lavorativa per un tempo rappresentativo dello svolgimento della propria mansione.

Livello di interferenza sul parlato (SIL, Speech Interference Level): descrittore dell'intelligibilità del messaggio verbale, pari alla differenza tra il livello del messaggio verbale nella posizione dell'ascoltatore e la media aritmetica del livello di pressione sonora nelle bande di ottava a 500, 1000, 2000 e 4000 Hz del rumore di fondo ivi presente. E' applicabile in ambienti poco riverberanti.

Livello di picco (L_{peak}): livello di pressione sonora misurato con costante temporale "Peak"; esso viene solitamente ponderato con curva di ponderazione lineare del fonometro "Lin" o con curva di ponderazione "C".

Livello di potenza sonora (L_W): descrittore dell'emissione di una sorgente sonora definito come:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad \text{dB}$$

ove W è la potenza sonora in watt della sorgente e $W_0 = 10^{-12}$ la potenza sonora di riferimento.

Livello di potenza sonora garantito (dichiarato): livello di potenza sonora comprendente sia le incertezze derivanti dalla variabilità della produzione della sorgente sia quelle insite nella procedura metrologica.

Livello di pressione sonora (L_p): descrittore della pressione sonora definito come:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad \text{dB}$$

ove p è la pressione sonora in Pascal e $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ la pressione sonora di riferimento.

Livello di pressione sonora al posto operatore: livello a cui è esposto il lavoratore addetto alla macchina. I produttori di macchine certificano questo dato in condizioni di campo libero.

Normativa: provvedimento di natura tecnica ad adesione volontaria.

Nuovo insediamento produttivo (NIP): condizione progettuale, preliminare alla realizzazione dell'opera, che riguarda gli edifici destinati ad una qualunque attività produttiva (agricola, commerciale, di servizio, industriale...). Dal punto di vista acustico è questa la condizione ottimale per prevedere e risolvere i problemi nel rispetto dell'art. 46 del D.Lgs. 277/91.

Obiettivi acustici: valori tecnici che indicano le prestazioni da raggiungere quando si avvia un processo per la realizzazione di un nuovo insediamento produttivo o di una sua ristrutturazione, di una nuova macchina, di una bonifica acustica. Possono essere definiti da leggi (requisiti acustici), da norme (standard prestazionali) o da valutazioni tecniche specifiche.

Ponderazione in frequenza: ponderazione delle ampiezze delle componenti in frequenza di un suono secondo una predeterminata funzione (curva). Le più utilizzate sono le curve "A", che approssima la curva di isosensazione sonora a 40 phon, e la "C" assimilabile alla curva di isosensazione sonora a 100 phon.

Provvedimento legislativo: provvedimento emanato dallo Stato o dalle altre Istituzioni nazionali con potere legislativo.

Rapporto di Valutazione del rischio rumore: documento redatto dal datore di lavoro che, presa visione dei risultati della valutazione del rischio effettuata dal

personale competente, indica le misure che verranno adottate per il mantenimento e miglioramento delle condizioni di esposizione al rischio e la periodicità delle successive valutazioni,.

Requisiti acustici: prestazioni acustiche prescritte da un disposto legislativo; sono da intendersi come valori di minima da rispettare sempre (nei casi previsti dalla legge)

Ricettore: posizione in corrispondenza di spazi utilizzati da persone e comunità nella quale può essere misurato il disturbo da rumore.

Rischio uditivo: rischio di abbassamento permanente della soglia di udibilità a seguito dell'esposizione prolungata ad elevati livelli sonori durante l'attività lavorativa.

Riverberazione: suono che permane in un ambiente chiuso dopo l'interruzione della sorgente sonora a seguito delle molteplici riflessioni e diffusioni sulle pareti delimitanti l'ambiente.

Rumore di calpestio: rumore prodotto dalla sollecitazione meccanica di un solaio sottoposto all'impatto di passi, oggetti, ecc. che si trasmette per via solida raggiungendo gli ambienti sottostanti.

Rumore di fondo: insieme di suoni presenti in una data posizione ad esclusione di quello di specifico interesse.

Schermo acustico (barriera acustica): dispositivo per la riduzione del rumore interposto sul percorso di propagazione diretta per via aerea del suono dalla sorgente al ricettore. Quando lo schermo è posizionato negli spazi esterni normalmente si parla di barriera acustica.

Silenziatori dissipativi: dispositivi per la riduzione del rumore, basati su rivestimenti delle pareti interne dei condotti con materiali fonoassorbenti.

Silenziatori reattivi: dispositivi per la riduzione del rumore, basati sul principio dell'assorbimento acustico per risonanza o per riflessione del rumore proveniente dalla sorgente.

Smorzamento: dissipazione dell'energia in un sistema oscillante sia nel tempo che nello spazio.

Sorgenti primarie: elementi meccanici o fluidi che, in relazione a specifici fenomeni fisici, generano onde sonore (ad es. corpi che si urtano o vibrano, gas o liquidi aventi un flusso irregolare).

Sorgenti secondarie: elementi meccanici che di per sé non costituiscono sorgenti sonore ma che, a causa della trasmissione di onde sonore o vibratorie provenienti attraverso l'aria, un liquido o una struttura meccanica, possono irradiare energia acustica (ad es. tubazioni, carter, ecc.).

Spettro acustico: determinazione delle componenti in frequenza del suono.

Standard acustici: prestazioni acustiche previste da norme tecniche o dati di letteratura; sono da intendersi valori che descrivono lo stato dell'arte per un determinato argomento e sono da rispettare in quanto interpretano esigenze genericamente manifestate da provvedimenti legislativi. Non possono mai essere in contrasto con i principi affermati dalle fonti legislative.

Suono diretto: suono che raggiunge una data posizione seguendo un percorso di propagazione diretta per via aerea dalla sorgente al ricettore senza alcuna riflessione.

Tempo di riverberazione (T_{60}): tempo in secondi occorrente affinché il livello di pressione sonora ad una data frequenza e posizione si riduca di 60 dB dopo l'interruzione dell'emissione sonora.

Tono puro: suono avente uno spettro costituito da una unica frequenza.

Trasmissione del suono per via aerea: propagazione libera delle onde sonore nell'aria in assenza di ostacoli solidi.

Trasmissione del suono per via solida (strutturale): propagazione delle onde sonore attraverso strutture solide tramite vibrazioni elastiche. La propagazione termina quando le vibrazioni giungono ad una struttura che, a contatto con l'aria, dà origine alla propagazione per via aerea.

Trasmissione sonora diretta: trasmissione dell'energia sonora nell'ambiente di ricezione esclusivamente attraverso il componente di specifico interesse.

Trasmissione sonora laterale: trasmissione dell'energia sonora nell'ambiente di ricezione attraverso le strutture adiacenti al componente di specifico interesse.

Trattamento fonoassorbente ambientale: intervento tecnico che riduce l'esposizione al rumore migliorando le caratteristiche fonoassorbenti di un ambiente.

Turnazioni: misura di carattere organizzativo che consiste in rotazioni del personale volte ad evitare che un dato lavoratore risulti esposto a livelli di rumore eccessivi. Il contenimento del rischio per quel soggetto comporta però l'incremento del rischio per chi viene chiamato a sostituirlo.

Valore limite di esposizione personale: valore previsto dalla legislazione il cui superamento deve essere impedito mediante tutte le misure tecniche, organizzative e procedurali concretamente attuabili.

Valori limite assoluti di immissione: valori massimi di rumore che possono essere immessi da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno in prossimità dei ricettori.

Valori limite assoluti di emissione: valori massimi di rumore che possono essere immessi da una sorgente sonora, misurati in prossimità della sorgente stessa.

Valutazione del rischio rumore: processo tecnico di conoscenza del rischio finalizzato alla sua prevenzione o protezione mediante misure tecniche (bonifiche acustiche), organizzative e procedurali, misure protettive individuali, verifica della salute uditiva degli esposti, loro informazione e formazione. Va effettuata da personale competente.

Zonizzazione acustica (Classificazione acustica del territorio): suddivisione del territorio comunale in classi acustiche previste dal D.P.C.M. 14 novembre 1997 al fine di ridurre al minimo i problemi di vicinanza tra ricettori con esigenze diversificate.